bois-marie

INSTITUT DES HAUTES ÉTUDES SCIENTIFIQUES

éditorial

On ne mesure que ce que la théorie prévoit nous dit l'adage. Quel meilleur exemple que celui de la détection des ondes gravitationnelles par les interféromètres de LIGO ? Mesurons l'exploit : ces ondes de déformation de l'espace-temps émises par la coalescence d'un système binaire de trous noirs nous arrivent d'1 milliard d'années-lumière et sont 10^{-9} fois plus petites qu'un atome. Retrouver leur signal au milieu du bruit cosmique avait tout d'une gageure et la métaphore de l'aiguille et de la botte de foin s'impose. Pourtant, la collaboration LIGO-Virgo a annoncé formellement la découverte le 11 février 2016.

Prédites par Albert Einstein dans la théorie de la relativité générale et grâce à la découverte de la solution de Schwarzschild, appelée aujourd'hui trou noir, les ondes gravitationnelles ont pu être détectées grâce à un siècle de développements théoriques et expérimentaux. La contribution de Thibault Damour, professeur permanent à l'IHES depuis 1989 a été cruciale. Il a mis au point en 2000, avec plusieurs collaborateurs, une nouvelle méthode servant à décrire le mouvement et la radiation gravitationnelle d'un système binaire de deux trous noirs coalescents. Le développement de cette méthode à l'IHES, nourri de nouvelles idées théoriques et d'un dialogue serré avec des résultats de simulations numériques, a permis de définir une classe de gabarits de haute précision pour la détection et l'analyse des signaux gravitationnels. Ces travaux ont permis d'interpréter le signal observé et de mesurer les masses et les spins des deux trous noirs coalescents.

Laisser aux chercheurs la possibilité de conduire leurs travaux en toute liberté, parfois sur plusieurs décennies, c'est précisément ce qui fait la raison d'être et le succès de l'Institut. Dans la quiétude du parc, lors des échanges spontanés favorisés par la vie à l'IHES, à l'occasion des quelque 200 exposés, colloques, et séminaires qui y sont organisés, les scientifiques ont toute latitude pour poursuivre leurs recherches.

Un programme : la curiosité ; un critère : l'excellence. Le projet simple et rare de l'IHES rassemble chaque année plus de 200 professeurs et chercheurs invités. Cette nouvelle édition de Bois-Marie vous donnera un aperçu de la diversité de la vie scientifique de l'Institut.

Le soutien des partenaires et des mécènes nous est fondamental pour continuer à faire vivre le rêve de Léon Motchane, le fondateur de l'Institut, et je vous remercie de votre engagement pour cette recherche libre et désintéressée.

Philippe Camus
Coprésident de la Campagne de l'IHES

sommaire

événements ..... 2 - 3
trimestre ondes non linéaires ..... 4 - 5
professeur permanent 6
chaire Schlumberger 7
ondes gravitationnelles et systèmes binaires 8-10
IHES, les premières années 11
campagne internationale 11
point de vue de ... / agenda 12

Institut des Hautes Études Scientifiques | *Le Bois-Marie, 35 route de Chartres, 91440 Bures-sur-Yvette, France*
Téléphone : +33 1 60 92 66 00 | Courrier électronique : comdev@ihes.fr | Site internet : www.ihes.fr

Les Cours de l'IHES

Les Cours de l'IHES ont, une fois encore, accueilli de prestigieux intervenants :
L. Lafforgue (IHES), « Catégories syntactiques pour les motifs de Nori »
J. Pardon (Stanford University), « *Contact Homology and Virtual Fundamental Cycles* »
C. Villani (institut Henri Poincaré), « La théorie synthétique de la courbure de Ricci »
H. Duminil-Copin (Université de Genève), « Le modèle d'Ising en dimension d »
T. Damour (IHES), « *Gravitational Waves and Binary Systems (Ondes gravitationnelles et systèmes binaires)* »
E. Ullmo (IHES), « La conjecture d'André-Oort »
E. Rabinovici (Hebrew University of Jerusalem & IHES), « *Topics in Quantum Field Theory and String Theory* »
Tous les Cours de l'IHES sont disponibles sur la chaîne de l'IHES :

Ruelle-Fest : avancées récentes en théorie des systèmes dynamiques

Cette conférence a été organisée par T. Damour et J.-P. Eckmann, le 28 janvier après-midi, en l'honneur de David Ruelle. Professeur permanent à l'IHES en 1964 puis professeur honoraire depuis 2000, il a apporté nombre de contributions majeures et durables dans plusieurs domaines de la physique. Les deux conférenciers étaient V. Baladi et H.H. Rugh.

Huawei-IHES Workshop

Cette journée, organisée le 13 avril 2016, dans le cadre du partenariat avec Huawei, portait sur les théories mathématiques des technologies de l'information et de communication. Pour la deuxième année consécutive, il a été organisé conjointement par le Mathematical and Algorithmic Sciences Lab de Huawei et l'IHES. Ce rendez-vous annuel a pour but de créer des échanges scientifiques autour de sujets mathématiques qui sont essentiels pour le développement et l'innovation.

HUAWEI

Les Amis de l'IHES

Les conférences grand public organisées deux fois par an par *Les Amis de l'IHES* connaissent un succès renouvelé.

Dans le cadre du centenaire de l'édification de la théorie de la relativité générale par Einstein, T. Damour a donné le 26 novembre 2015 un exposé intitulé « Relativité générale et trous noirs : un siècle de développements » au cours duquel il a passé en revue l'impact profond de ces deux découvertes sur la physique et l'astrophysique actuelles. De nombreux Buressois s'étaient déplacés à cette occasion.
La conférence du 20 mai dernier de S. Dehaene, spécialiste en psychologie cognitive, a par ailleurs battu des records de fréquentation puisque l'on a atteint le chiffre de 130 participants pour cet exposé passionnant intitulé « D'où proviennent nos intuitions mathématiques ? »
T. Damour sera à nouveau à l'honneur pour la conférence de l'automne prochain ; il donnera un exposé sur les ondes gravitationnelles qui devrait à nouveau attirer un public nombreux.

Pour donner un côté plus dynamique à ses activités et en attendant un possible financement extérieur, l'association a décidé de porter à trois le nombre d'événements grand public organisés chaque année. Ainsi, dès 2017, une conférence devrait avoir lieu en début d'année, en février, une autre au printemps et une autre à l'automne. Les informations seront disponibles sur le site de l'IHES.

Stanislas Dehaene

Conférence en l'honneur d'Arthur Ogus

Du 23 au 25 septembre 2015 s'est déroulée à l'IHES une conférence de géométrie algébrique en l'honneur d'A. Ogus à l'occasion de son 70ème anniversaire.

A. Ogus est professeur à l'université de Californie à Berkeley, université au sein de laquelle il a également assumé la charge de directeur du département de mathématiques de 2012 à 2015. Il a été chercheur invité de l'IHES à de nombreuses reprises : la première en 1974, la plus importante en 1977-1978 et la plus récente de septembre à décembre 2015. Il a également été invité par diverses universités françaises, en particulier par l'université Paris XI (Orsay) en 1978-1979 puis en 1991.
Son domaine de recherche se situe à la confluence de l'arithmétique et de la géométrie algébrique. Se plaçant dans le sillage des techniques développées par A. Grothendieck et ses collaborateurs, ses idées ont donc naturellement trouvé en France et en particulier à l'IHES des lieux privilégiés où se faire connaître, apprécier et discuter.
Parmi les collaborations au long cours d'A. Ogus qui ont pu en résulter, on peut extraire celle entretenue avec P. Berthelot dès le début des années 70, jalonnée de travaux devenus des classiques : la monographie d'introduction à la cohomologie cristalline (1978) et l'article sur la comparaison entre cohomologie cristalline et cohomologie de De Rham (1983).
Plus récemment, intéressé par L. Illusie à la géométrie logarithmique, A. Ogus en est devenu l'un des meilleurs experts et son livre, très attendu, sur le sujet devrait lui aussi faire référence. Ce ne sont là que deux exemples parmi d'autres des liens forts que l'IHES a contribué à tisser au fil des ans entre A. Ogus et quelques-uns des meilleurs représentants de l'école mathématique française de géométrie arithmétique.

C'est toujours en manifestant une très grande générosité dans le partage de ses intuitions et une grande ouverture d'esprit qu'A. Ogus a passé ses séjours en France. L'IHES souhaitait donc en organisant cette conférence à l'occasion de la célébration de son 70ème anniversaire et de sa visite de quatre mois en son sein, être le premier à manifester sa reconnaissance pour tout le chemin parcouru grâce à lui. Cette conférence a réuni beaucoup des meilleurs experts des thématiques chères à A. Ogus. Elle a permis aux participants d'entrevoir les contours des futurs développements de sujets auxquels il a puissamment contribué et auxquels l'IHES compte bien continuer à apporter son soutien.

Ahmed Abbes

Toutes les vidéos de la conférence :

Topos à l'IHES

Le colloque « Topos à l'IHES », organisé par O. Caramello, P. Cartier, A. Connes, S. Dugowson et A. Khelif grâce à une bourse L'Oréal-Unesco pour les femmes et la science, s'est tenu du 23 au 27 novembre 2015.

A. Joyal et moi-même avons donné des cours d'introduction les deux premiers jours, suivis de trois jours d'exposés : 11 exposés pléniers et 11 exposés courts donnés pour la plupart par des jeunes. Il y a eu plus d'une centaine de participants, en particulier les deux premiers jours qui ont permis à beaucoup de se familiariser avec le sujet. Les vidéos des cours et des exposés sont aussi très regardées sur internet. Le colloque a illustré la fécondité et l'impact de la notion de topos - introduite par A. Grothendieck à l'IHES dans les années 60 - dans différents secteurs des mathématiques, tels que la géométrie algébrique, l'algèbre, la théorie des nombres, la logique mathématique, l'analyse fonctionnelle, la topologie et la physique mathématique.
Le caractère unifiant de la notion de topos avait déjà été entrevu par Grothendieck, qui comparait le thème du topos à un « lit » ou une « rivière profonde » qui réalise un mariage entre *« le monde du continu et celui des structures discontinues ou discrètes »*, et qui permet de *« saisir avec finesse, par un même langage riche en résonances géométriques, une " essence " commune à des situations des plus éloignées les unes des autres. »*
Après l'introduction des topos par Grothendieck comme pourvoyeurs d'invariants cohomologiques utiles pour la géométrie algébrique (en particulier dans l'optique des conjectures de Weil), de nouvelles perspectives sur la notion de topos ont émergé. D'après W. Lawvere et M. Tierney, les topos peuvent être considérés comme des sortes d'univers mathématiques dans lesquels les constructions familières sur les ensembles restent possibles mais qui sont doués chacun de propriétés spécifiques. D'autre part, la théorie des topos classifiants permet d'associer à toute théorie mathématique d'une forme très générale un topos qui incarne son « contenu sémantique ».

Olivia Caramello

Plus récemment, les topos ont commencé à être utilisés comme des sortes de « ponts unifiants » permettant de relier entre elles des théories mathématiques différentes, d'engendrer et étudier des dualités ou des équivalences, de transférer des notions et résultats entre domaines mathématiques distincts et de démontrer des nouveaux résultats à l'intérieur d'une théorie donnée.

Olivia Caramello

L'IHES accueille de nouveaux professeurs et titulaires de chaires

Chargée de recherche CNRS à l'IHES

Fanny Kassel, mathématicienne, à l'université Lille 1 (France). Ses travaux s'articulent autour des espaces homogènes pseudo-riemanniens. Avec ce fil conducteur, elle a touché en profondeur à des domaines aussi différents que les groupes de Lie, la géométrie hyperbolique et la théorie spectrale. Elle a reçu la médaille de bronze du CNRS en 2015.

Chaire Louis Michel
Eliezer Rabinovici, physicien, chaire Leon H. et Ada G. Miller à Racah Institute of Physics, Hebrew University of Jerusalem (Israël). Son domaine de recherche est la physique théorique haute énergie, en particulier la théorie quantique des champs et la théorie des cordes.

IHES 2015 - Biologie de synthèse

Une réunion pour discuter des dernières avancées en biotechnologie cellulaire et moléculaire s'est tenue à l'IHES en décembre 2015, avec 29 orateurs invités de sept pays différents et une centaine de participants. Depuis que la technologie de l'ADN recombinant a été lancée dans les années 70, la boîte à outils des technologies moléculaires s'est remplie d'une telle abondance de techniques que l'expression « biologie de synthèse » n'est plus un vain mot et représente désormais une réalité, ou du moins presque. Ces avancées soulèvent bien entendu de nombreuses questions en ce qui concerne leurs risques et avantages potentiels. La transformation des processus fondamentaux par voie expérimentale pourrait ouvrir de nouvelles perspectives sur les pressions sélectives qui ont abouti aux systèmes biologiques que nous connaissons actuellement mais aussi mener à de nouvelles applications pratiques.
L'évolution biologique n'a pas l'habitude de produire des *« designs »* radicalement nouveaux, parce que la sélection naturelle ne s'opère généralement que sur des variantes qui ressemblent pratiquement à tous points de vue à leurs ancêtres. Les grandes ruptures évolutionnaires sont extrêmement rares car il y a très peu de chance que la transformation aléatoire d'un processus fondamental aboutisse à quelque chose de viable. Mais l'ingénierie intelligente est un processus beaucoup plus ciblé, qui fait que la création de nouvelles formes de vie utilisant des processus fondamentalement différents ne relève plus de l'impossible. Pendant la réunion, différents intervenants ont présenté toute une série de méthodes pour transformer les organismes fondamentalement, à de nombreux niveaux.
Par exemple, le système moléculaire qui gère le matériel génétique peut être modifié pour inclure des nucléotides synthétiques (élements de base de l'ADN et de l'ARN) et même les acides aminés nouveaux (composants des protéines). Les organismes qui en résultent peuvent avoir des caractéristiques nouvelles.
« La science frankesteinienne» a sans doute mauvaise réputation, mais elle peut également avoir des avantages concrets. Des bactéries modifiées qui produisent des molécules thérapeutiques sur demande – qui pourraient même suivre des instructions précises pour le faire – contribueront peut-être un jour à lutter contre bien des maladies. À titre d'exemple, les diabétiques pourraient un jour recevoir des implants qui mesurent le taux de glycémie, produisant de l'insuline uniquement lorsque celle-ci est nécessaire, éliminant ainsi le recours régulier aux piqûres aux doigts et aux injections d'insuline.
La modification des systèmes génétiques est en soi un exploit majeur mais, ainsi que l'ont démontré les participants à la réunion, la biologie de synthèse ne s'arrêtera pas là. Par exemple, de nouvelles voies métaboliques ont été conçues et construites pour produire de nouveaux composés. Il deviendra peut-être bientôt possible de concevoir de nouvelles voies métaboliques et d'optimiser des systèmes cellulaires tels que les systèmes immunitaires, pour produire de nouveaux composés et accomplir de nouvelles tâches.

Minus van Baalen, François Képès & Mikhail Gromov

Mikhail Gromov

trimestre ondes non linéaires

Un trimestre sur les ondes non linéaires, organisé conjointement par T. Duyckaerts (Univ. Paris 13), Y. Martel (École polytechnique), F. Merle (Univ. Cergy-Pontoise & IHES), F. Planchon (Univ. Nice Sophia-Antipolis), P. Raphaël (Univ. Nice Sophia-Antipolis), J. Szeftel (CNRS-Univ. Pierre & Marie Curie) et N. Tzvetkov (Univ. Cergy-Pontoise), s'est tenu à l'IHES du 2 mai au 29 juillet 2016.

En plus des séminaires et des groupes de travail réguliers organisés toutes les semaines tout au long de la période, le trimestre a été ponctué par trois événements majeurs : deux conférences de cinq jours, du 23 au 27 mai et du 20 au 24 juin, et une école d'été du 18 au 29 juillet.

Ce programme, qui a réuni plus de 80 grands scientifiques dans le domaine sur trois mois ainsi que de nombreux étudiants pendant l'École d'été, a pu être organisé grâce au soutien de la Commission européenne au travers d'un *ERC Advanced Grant* (*Principal Investigator*: F. Merle) *« Blow up, dispersion and solitons (Blowdisol) »* hébergé par l'université de Cergy-Pontoise. Les contributions de la Société Générale et du Clay Mathematics Institute ont également été cruciales pour l'organisation de l'École d'été qui a conclu ce magnifique trimestre.

Objectifs scientifiques, déroulement et réalisations du trimestre IHES

Deux des organisateurs du trimestre IHES avaient déjà organisé un semestre thématique à l'IHP au printemps 2009, intitulé « Ondes non linéaires et dispersion ». Ce précédent programme avait pour objectif de faire le point sur près de vingt ans de développements reliés aux équations non linéaires dispersives « modèles », de Korteweg-de-Vries à l'équation de Schrödinger non linéaire en passant par l'équation des ondes sous diverses formes. Cette activité, impulsée surtout aux États-Unis par des chercheurs venus de l'analyse harmonique (C. Kenig, G. Ponce, L. Vega, J. Bourgain) a naturellement rencontré les efforts pionniers menés en Europe par J. Ginibre, G. Velo, J.-C. Saut, puis H. Bahouri, J.-Y. Chemin, P. Gérard, F. Merle et bien d'autres à leur suite.

Le programme de 2009 avait connu un fort succès, avec une participation très importante de très nombreux invités étrangers de haut niveau, certains pour la durée du programme, d'autres pour au moins un mois.

En quelque sorte, ce programme avait clos un cycle de l'activité dans le champ des équations dispersives, centrée autour des problèmes de Cauchy pour les diverses équations modèles. Dans le même temps, il avait également permis d'exposer divers développements alors récents : l'analyse de modèles explosifs comme Schrödinger focalisant, ou encore les méthodes de concentration-compacité-rigidité (qui ont également essaimé au-delà des modèles dispersifs).

L'activité scientifique du domaine est aujourd'hui, d'une certaine façon, beaucoup plus diversifiée qu'il y a quatre ou cinq ans, et cela se reflète dans l'activité scientifique menée durant ce trimestre thématique à l'IHES : l'analyse des principaux modèles dispersifs jouets s'est déplacée vers des questions délicates reliées à l'asymptotique des solutions, que ce soit dans une description dynamique précise des régimes explosifs ou dans les progrès vers la conjecture de résolution des solitons, avec l'analyse des collisions entre plusieurs solitons, ou bien encore avec l'étude de la stabilité des solutions de type breather. L'émergence d'un corpus de techniques bien identifiées a également permis d'illustrer leur versatilité, avec leur développement fructueux sur des modèles au-delà du dispersif, notamment sur des équations géométriques dispersives encore inabordables il y a peu (par exemple, l'analyse de l'explosion pour les *Schrödinger maps*) et également, comme déjà mentionné, pour revisiter les équations paraboliques. De manière plus générale, des théorèmes de classification du comportement des solutions de divers modèles non linéaires ne sont plus inatteignables, et le trimestre a vu une activité importante de présentation (séminaires, cours de la fondation Hadamard et à l'École d'été par C. Kenig) des résultats récents de T. Duyckaerts, C. Kenig et F. Merle sur la résolution en solitons des solutions de l'équation des ondes non linéaires focalisante d'énergie critique.

Carlos Kenig

Dans le même temps, une intense activité de développement autour des effets dispersifs se poursuit sur des modèles beaucoup plus délicats, souvent plus proches de la réalité physique. Même des modèles plus simples mais physiques comme l'équation de Dirac (non linéaire) présentent des difficultés non encore rencontrées avec les ondes ou Schrödinger. Le trimestre IHES a permis l'interaction de nombreux chercheurs d'horizons divers sur des modèles fluides comme les *« water waves »* et plus généralement dans les modèles de type ondes/dispersifs qui apparaissent dans de nombreuses dérivations « asymptotiques » de phénomènes fluides.

Les effets dispersifs ont joué un rôle prépondérant dans les résultats d'existence et d'asymptotique les plus récents qui ont été présentés lors des séminaires, des deux conférences et de l'école d'été. Dans le cadre des *« water waves »*, on s'intéresse maintenant surtout à l'asymptotique, et également à des modèles de plus en plus sophistiqués et proches de la réalité physique (tension de surface, profondeur finie, etc.).

De nouveaux développements se produisent, notamment sur le cas 2D, qui est le plus difficile : il y a un phénomène de décollement de phase dans l'étude du scattering qui n'avait jamais été étudié sur un problème quasilinéaire. Tous ces résultats sont prometteurs parce qu'ils introduisent de nouveaux outils, susceptibles d'applications diverses dans le champ des modèles dispersifs fluides et au-delà.

L'étude des filaments de vortex connaît également d'intéressants développements en connexion avec les équations dispersives géométriques comme les *« Schrödinger maps »* ou mKdV, qui ont été présentés pendant le trimestre. Même dans le vide, la compréhension de la géométrie de l'espace-temps passe par l'analyse de délicates équations des ondes quasilinéaires ; de multiples avancées dans le cadre de la relativité générale, dont certaines ont été très directement influencées par les développements rapides de l'analyse des modèles dispersifs, ont été discutées et présentées lors des divers événements du trimestre.

Rappelons que le domaine a ainsi connu ces dernières années plusieurs avancées majeures, de la résolution de la « conjecture de courbure L2 » (S. Klainerman, I. Rodnianski et J. Szeftel) à la stabilité linéaire de la famille de métriques de Kerr (M. Dafermos, I. Rodnianski, D. Tataru, etc.), deux questions où la compréhension des phénomènes dispersifs joue un rôle essentiel. La formation des surfaces piégées (D. Christodoulou, S. Klainerman, I. Rodnianski) rentre également dans le cadre de l'analyse asymptotique, avec des outils très proches de l'analyse microlocale, et le trimestre a été l'occasion d'exposer les plus récents développements sur ces sujets très actifs.

Par ailleurs, les équations linéaires continuent de générer une activité importante, dans des cadres plus proches des modèles physiques réalistes : géométrie « compliquée » (métrique variable, éventuellement peu régulière, présence de conditions au bord, influence de la géométrie de l'environnement sur la propagation et la dispersion).

Enfin, signalons une activité en croissance, dans un champ d'investigation à l'interface des EDPs dispersives et des probabilités, qui a connu un développement rapide, avec l'étude d'équations dispersives non linéaires où la donnée initiale est choisie presque sûrement dans un espace hors d'atteinte des théories déterministes.

Les objectifs du trimestre IHES étaient multiples : faire un point d'étape sur ce nouveau cycle ouvert il y a quelques années, porter une attention particulière aux jeunes qui travaillent dans ces domaines où la complexité croissante des activités rend le début de carrière de plus en plus difficile. D'autre part, il s'agissait également de rapprocher des chercheurs pour lesquels les points de convergence sont encore plus évidents aujourd'hui qu'ils ne l'étaient en 2009 : citons les importantes communautés françaises de l'étude mathématique de modèles fluides, de la théorie cinétique, des systèmes dynamiques et des équations aux dérivéees partielles en lien avec des modèles hamiltoniens en dimension infinie. Aux États-Unis, les activités centrées autour des modèles dispersifs, de la mécanique des fluides et des ondes non linéaires (notamment en lien avec la relativité générale et la physique mathématique) sont en pleine croissance (comme l'a illustré le succès d'un très gros programme thématique au MSRI à l'automne 2015). Toutes ces communautés ont aujourd'hui des recouvrements ponctuels reconnus, l'activité scientifique du trimestre IHES aura permis de fédérer ces activités, en permettant de nombreux échanges fructueux entre scientifiques d'horizon divers.

Conférences

Le trimestre a vu l'organisation de deux conférences : une première en mai, avec la liste des conférenciers suivante : M. Berti (SISSA), L. Bieri (University of Michigan), P. Bizon (Jagellonian University, Krakow), W. Craig (McMaster University), P. D'Ancona (Universita di Roma 1), M. Del Pino (Universidad de Chile), J.-M. Delort (Université Paris 13), E. Faou (INRIA & Université de Rennes 1), G. Fibich (Tel Aviv University), M. Hadzic (King's College London), O. Ivanovici (CNRS & Université Nice-Sophia Antipolis), S. Klainerman (Princeton University), H. Koch (Universität Bonn), T. Mizumachi (Kyushu University), K. Nakanishi (Osaka University), S.-J. Oh (University of California, Berkeley), G. Ponce (University of California at Santa Barbara), D. Smets (Université Pierre et Marie Curie), L. Thomann (Université de Lorraine), P. Topping (Warwick University), L. Vega (Universidad del Pais Vasco), M. Visan (University of California at Los Angeles).

Une seconde conférence a eu lieu en juin, avec la liste des conférenciers suivante : T. Alazard (CNRS & ENS Paris), V. Banica (Université d'Evry Val d'Essonne), D. Cordoba (ICMAT), M. Dafermos (University of Cambridge), C. De Lellis (Universität Zürich), B. Dodson (Johns Hopkins University), P. Gérard (Université Paris-Sud), P. Germain (Courant Institute of Mathematics), C. Huneau (CNRS & Université Grenoble-Alpes), A. Ionescu (Princeton University), R. Jerrard (University of Toronto), T. Kappeler (Universität Zürich), R. Killip (UC Los Angeles), M. Kowalczyk (Universidad de Chile), D. Lannes (CNRS & Université de Bordeaux 1), A. Lawrie (University of California, Berkeley), E. Lenzmann (Universität Basel), A. Nahmod (University of Massachusetts, Amherst), F. Pusateri (Princeton University), B. Schlein (Universität Zürich), C. Sogge (Johns Hopkins University), V. Vicol (Princeton University), H. Zaag (Université Paris 13).

Les deux conférences avaient vocation à présenter les résultats les plus récents se rattachant aux domaines d'activité des participants du trimestre, dans un sens le plus large possible. La totalité des thématiques évoquées précédemment ont ainsi été abordées : asymptotique de modèles dispersifs, dynamique autour des solitons, phénomènes d'explosion, dynamique hamiltonienne en dimension infinie, stabilité de modèles fluides/cinétiques non linéaires, équations d'Einstein, stabilité du modèle de Kerr, équations dispersives critiques, asymptotique de modèles fluides, dispersifs ou non.

École d'été

École d'été 2016

Le trimestre s'est conclu par l'École d'été de deux semaines, avec une alternance de mini-cours, destinés à présenter des sujets de recherche actifs, et des exposés de travaux de recherche plus classiques. Les mini-cours ont été donnés par R. Frank (California Institute of Technology), C. Kenig (University of Chicago), N. Masmoudi (Courant Institute of Mathematical Sciences), B. Pausader (Brown University), M. Procesi (Universita di Roma 1), R. Strain (University of Pennsylvania), D. Tataru (University of California at Berkeley). Ils ont illustré la diversité et la richesse thématique du trimestre, donnons-en les titres (dans l'ordre précédent des orateurs) :

- « *A microscopic derivation of Ginzburg-Landau theory* » ;
- « *Soliton resolution for the energy critical wave equation* » ;
- « *Stability of the 3D Couette Flow* » ;
- « *Asymptotic behavior for the cubic nonlinear Schrödinger equation on product spaces* » ;
- « *Recurrent and diffusive dynamics for the NLS equation on tori* » ;
- « *On the Vlasov-Maxwell System in the Whole Space* » ;
- « *Two dimensional water waves* ».

Oana Ivanovici

Les exposés plus traditionnels ont été donnés par S. Bianchini (SISSA), R. Carles (CNRS - IMAG Montpellier), S. Gustafson (University of British Columbia), J. Krieger (EPFL), H. Lindblad (Johns Hopkins University), H. Matano (School of Science, University of Tokyo), N. Pavlovic (University of Texas at Austin), R. Pego (Carnegie Mellon University), S. Roudenko (George Washington University), G. Staffilani (Massachusetts Institute of Technology), T.-P. Tsai (University of British Columbia), N. Visciglia (Universita di Pisa), S. Wu (University of Michigan), sur des thématiques reliées, de près ou de loin, avec les sujets des mini-cours précédents.

Conclusion

Le trimestre IHES a été un succès, illustré par un nombre important de professeurs invités restant plusieurs semaines et, pour certain.e.s, plusieurs mois (plus de 80 invité.e.s sur les trois mois), et par une très forte demande pour l'École d'été qui a clôturé le programme scientifique. S'il est trop tôt pour mesurer l'impact scientifique du trimestre lui-même - tout au plus peut-on remarquer que le continuum d'activités depuis l'automne au MSRI jusqu'au Bois-Marie en juillet semble avoir accéléré certains développements -, on peut néanmoins citer quelques tendances : l'objectif de classifier la dynamique de modèles d'équations aux dérivées partielles hamiltonienne n'apparaît plus inatteignable, une résolution complète de la conjecture des solitons sur des modèles non intégrables n'a jamais été aussi proche ; les techniques issues des modèles dispersifs sont maintenant prévalentes dans la plupart des travaux reliés aux équations de la physique mathématique, de la relativité générale et de la mécanique des fluides. Il est frappant de constater que des chercheurs de plus en plus nombreux travaillent de façon indifférenciée sur ces divers thèmes, et que chaque progrès thématique se propage très rapidement à l'ensemble des thèmes connexes.

Yvan Martel, Frank Merle & Fabrice Planchon

Arrivée d'Hugo Duminil-Copin

Hugo Duminil-Copin, titulaire de la chaire IDEX Paris-Saclay, rejoint l'IHES en tant que professeur permanent. Il partage ici le cheminement de son choix.

Sur une suggestion d'E. Ullmo, je fus invité à donner un cours durant un séjour de trois mois à l'Institut pendant l'hiver 2016. Je me souviens avoir été très flatté et heureux de cette opportunité. Comme tout mathématicien, je n'avais entendu que des éloges sur le prestigieux institut et son panel de chercheurs permanents reconnus. J'étais donc excité (et un peu intimidé) de pouvoir côtoyer ce monde particulier.

Tout au long de ma vie, mes excursions loin de Bures-sur-Yvette furent si éphémères qu'a posteriori l'IHES semble avoir agi (à mon insu) comme un grand « attracteur ». Je grandis sur le plateau, aux Ulis, à moins de dix minutes à pied de l'Institut. Je rejoignis ensuite le collège de Bures-sur-Yvette, à 15 minutes dans la direction opposée. Après m'être égaré à Paris durant mes études (j'effectuai mes classes préparatoires puis l'École normale supérieure dans le Ve arrondissement), je revins à Orsay pour valider mon Master de Probabilités et Statistiques à l'université Paris 11. Je fus ensuite envoyé loin de Bures-sur-Yvette par W. Werner, qui me conseilla de travailler pour ma thèse avec S. Smirnov. Je m'installai donc à Genève pour quelques années, obtenant même un poste permanent me laissant penser que ma vie se déroulerait à plus de 500 kilomètres de Bures-sur-Yvette.

C'était sans compter sur le destin (ou plus prosaïquement E. Ullmo) qui m'amena par un matin pluvieux de janvier aux portes de l'IHES. Je suis passé des centaines de fois devant le Bois-Marie durant mon enfance, sans avoir la moindre idée de ce qui pouvait se trouver de l'autre côté de ces murs. Je n'aurais jamais imaginé que s'y cachait un havre de paix, un paradis pour mathématiciens et physiciens. Je tombai instantanément sous le charme du lieu, du rythme calme et serein qui y règne, de son ambiance hors du temps si propice à la créativité et l'inspiration.

L'IHES a cette force de regrouper à la fois des physiciens et des mathématiciens. Le domaine de la physique mathématique sur lequel porte ma recherche actuelle est donc au cœur des thématiques de l'Institut. Pour ne citer qu'eux, D. Ruelle et J. Fröhlich ont tous les deux profondément marqué le domaine de la physique statistique ; leurs travaux ont révolutionné la compréhension des modèles sur réseau, qui est l'un de mes sujets de prédilection. Le choix du sujet de mon cours s'imposa donc naturellement ; ce dernier porterait sur le modèle d'Ising, l'un des représentants les plus fondamentaux de ces modèles.

Hugo Duminil-Copin fait partie des dix lauréats à avoir reçu le 18 juillet 2016 le prix de la Société mathématique européenne (EMS Prize), lors du 7e congrès européen de mathématiques. Ce prix récompense *« ses contributions importantes à la théorie de la percolation, domaine des probabilités qui s'intéresse au comportement d'ensemble de sommets connectés dans des graphes aléatoires. »*

Faire un Cours à l'IHES est inspirant et stimulant. L'audience est constituée de mathématiciens et physiciens d'origines variées, capables d'assimiler des connaissances venant d'autres contextes que leur sujet d'étude principal. Cette fertilisation par l'interaction entre chercheurs de différents domaines est encouragée par le fonctionnement de l'Institut (en particulier au déjeuner et à l'heure du thé) et influe par conséquent profondément sur la recherche des professeurs invités et permanents. Cette philosophie rejoint parfaitement ma vision de la recherche, basée sur la collaboration, l'échange et l'interdisciplinarité.

Pour toutes ces raisons, j'ai tout de suite compris que je serai comme un poisson dans l'eau à l'IHES. J'acceptai donc immédiatement l'offre de professeur permanent que le conseil scientifique me proposa quelques jours après mon arrivée. À l'heure où j'écris ces lignes, je n'ai pas encore rejoint officiellement les rangs de l'Institut, mais mon esprit est d'ores et déjà à Bures-sur-Yvette, où je me réjouis de profiter au quotidien de ce contact fécond avec les nombreux chercheurs invités. J'en profite pour remercier ceux d'entre eux ayant pris le temps de lire ces quelques lignes.

H. Duminil-Copin

Hugo Duminil-Copin a fait ses études à l'université Paris 11 et obtenu une agrégation en mathématique à l'École normale supérieure de Paris. Il est ensuite allé à l'université de Genève où, après y avoir soutenu sa thèse (sous la direction de S. Smirnov) en 2012, il a été professeur assistant (2013-2014) puis professeur à partir de 2014.

H. Duminil-Copin est un probabiliste. Ses travaux concernent des modèles de mécanique statistique tels que la percolation, le modèle d'Ising, le modèle de Potts en dimension deux ou trois, les marches aléatoires en milieu aléatoire. Ses travaux ont aussi un impact en physique mathématique, analyse complexe et combinatoire. Il a également des contributions importantes en physique statistique. Il s'intéresse par ailleurs à l'étude des modèles stochastiques comme les marches aléatoires en milieu aléatoire.

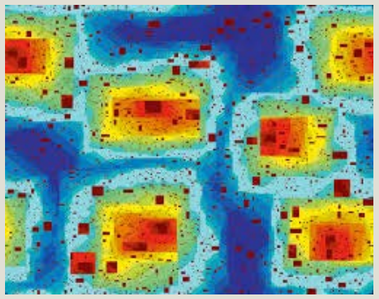


Illustration de percolation

Il a publié 30 articles dans les meilleures revues de son sujet, seul ou avec des collaborateurs très divers. Plusieurs de ses résultats lui ont valu une reconnaissance internationale immédiate ainsi que de nombreux prix (cours Peccot, Prix Rollo Davidson, Early Career Award of the International Association of Mathematical Physics, Oberwolfach Prize).

Le positionnement d'H. Duminil-Copin apporte un tournant scientifique extrêmement positif à l'IHES. Les probabilités ont connu récemment des développements spectaculaires sous l'impulsion de personnalités comme O. Schramm, W. Werner, S. Smirnov ou M. Hairer.

Pour l'IHES, recruter un probabiliste est une opportunité de s'ouvrir à cette thématique-phare des mathématiques contemporaines et de diversifier l'activité scientifique de l'Institut.

Francis Bach

Créée en 2006 dans le cadre de la Campagne du Cinquantenaire, la chaire Schlumberger permet chaque année à un.e scientifique de poursuivre ses travaux à l'IHES dans des conditions d'accueil optimales et pour des durées de visites d'environ six mois.

Cette chaire offre une grande liberté d'animation scientifique avec la possibilité d'inviter des collaborateurs ou d'organiser des événements. Les titulaires de la chaire Schlumberger sont sélectionnés par le conseil scientifique pour leurs travaux à l'interface avec les hautes technologies (cf. *infra*).

De septembre 2015 à février 2016, c'est F. Bach qui a occupé la chaire Schlumberger sur les sujets d'apprentissage statistique, optimisation et transport optimal.

F. Otto a, quant lui, occupé la chaire 2 mois en 2015 et 2 mois en 2016.

Le workshop « *Computational and Statistical Trade-offs in Learning* », organisé les 22 et 23 mars 2016 dans le cadre de la chaire, a mis l'accent sur les compromis informatiques et statistiques qui se posent dans divers domaines.

Un des principaux objectifs a été d'identifier des idées importantes développées indépendamment dans certaines communautés qui pourraient bénéficier à d'autres.

Les vidéos du colloque Schlumberger sont disponibles sur YouTube :

Francis Bach est actuellement chercheur à l'INRIA et responsable, depuis 2011, de l'équipe-projet SIERRA, qui fait partie du département informatique de l'École normale supérieure de Paris.

Son domaine de recherche est la théorie de l'apprentissage statistique notamment pour les modèles graphiques, la vision artificielle, le traitement d'image ou du signal audio, la bioinformatique et l'imagerie cérébrale. Il développe des outils pour le traitement de données massives et complexes.

Il a reçu de nombreux prix et distinctions scientifiques dont le Microsoft Research Fellowship en 2002 (attribué à 12 élèves par an aux États-Unis) et le Prix INRIA jeune chercheur en 2012.

Felix Otto, mathématicien, directeur du laboratoire Pattern Formation, Energy Landscape and Scaling Laws au Max-Planck-Institut in den Naturwissenschaften, Leipzig (Allemagne) depuis 2010.

Ses domaines de recherche sont, notamment, la théorie du micromagnétisme, l'homogénéisation stochastique, l'instabilité Rayleigh-Bénard...

Il a reçu le prix Gottfried Wilhelm Leibniz de la Fondation allemande pour la recherche en 2006 et la distinction Gauss Lecture de la Société mathématique allemande en 2009. Il est membre de l'Académie des sciences de l'État de Rhénanie-du-Nord-Westphalie ainsi que de l'Académie des sciences allemande Leopoldina.

Machine learning

Les données numériques prennent une place croissante dans les mondes scientifiques et industriels, ainsi que dans nos vies personnelles. Un des buts de l'apprentissage statistique (*machine learning*) est de donner du sens à ces masses de données.

Un enjeu majeur de l'apprentissage est de pouvoir « généraliser », c'est-à-dire, prédire au-delà des données observées. Pour ceci, il est classique de formuler le problème d'apprentissage comme un problème d'optimisation à partir de données bruitées. Mes recherches actuelles s'articulent sur deux aspects : (1) les méthodes d'optimisation stochastique pour les grandes masses de données, où il est nécessaire de développer des algorithmes dont la complexité computationnelle est linéaire dans la taille des données, et (2) les méthodes d'optimisation convexes pour les problèmes d'optimisation combinatoire communs en apprentissage (comme pour le partitionnement en plusieurs groupes, dit *clustering*). Pendant mon séjour à l'IHES, grâce à la chaire Schlumberger, j'ai travaillé sur ces deux aspects, en bénéficiant notamment de l'interaction avec les chercheurs de l'institut et ses chercheurs invités, ainsi que du Cours de l'IHES de C. Villani.

Tout d'abord, en collaboration avec V. Perchet (professeur à l'ENSAE), nous avons étudié comment utiliser la régularité d'ordre supérieur dans un cadre d'optimisation en ligne où seules des valeurs bruitées de la fonction à optimiser sont disponibles. Ensuite, en utilisant des liens entre la théorie du transport optimal et la sous-modularité pour les problèmes combinatoires, j'ai notamment montré comment une grande partie de l'analyse sous-modulaire sur l'hypercube pouvait s'interpréter comme une propriété de transport optimal entre deux ensembles totalement ordonnés. Ceci a donné lieu à de nouvelles méthodes d'optimisation en temps polynomial pour une nouvelle classe de fonctions continues mais non-convexes.

Enfin, S. Arlot (professeur à l'université Paris-Sud, en délégation à l'IHES), A. Celisse (maître de conférences à l'université de Lille-1) et moi-même, avons organisé un colloque sur les compromis entre temps de calcul et performance statistique, avec des orateurs invités internationaux, qui a permis de présenter les avancées récentes de notre domaine en pleine expansion.

Francis Bach

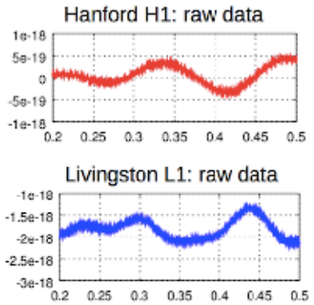
ondes gravitationnelles et systèmes binaires

Notre compréhension théorique de la dynamique des systèmes binaires, et de la façon dont les ondes gravitationnelles influencent le mouvement des systèmes binaires tout en étant engendrées par de tels systèmes, a connu des progrès considérables depuis les années 80. Bon nombre de ces avancées théoriques dans ce qu'on appelle la Relativité Analytique trouvent leur origine dans des travaux réalisés en France. Cet article a pour objectif de donner un aperçu de ces résultats en Relativité Analytique, notamment ceux obtenus à l'IHES.

On pourra consulter un article plus détaillé, contenant des données bibliographiques et d'autres références, sur le site dédié : https://gravitational_waves.ihes.fr/

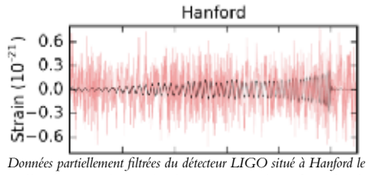
Nous savons depuis les années 80 que la force gravitationnelle entre les corps se propage à la vitesse de la lumière par ondes retardées. En effet, l'excellente concordance entre l'observation des pulsars binaires (J.H. Taylor et collaborateurs) et les calculs théoriques, en relativité générale, de l'interaction retardée de deux corps (T. Damour et N. Deruelle) constitue une preuve expérimentale directe des propriétés de propagation du champ gravitationnel et en particulier une confirmation expérimentale que la vitesse de propagation de la gravité est égale à celle de la lumière à moins d'un millième près. La concordance entre l'observation des pulsars binaires et la théorie a également apporté les premières confirmations de la théorie d'Einstein dans le régime de champ fort (J.H. Taylor, A. Wolszczan, T. Damour, J.M. Weisberg, 1992).

Des annonces récentes (B.P. Abbott et collaborateurs, 2016a, 2016b) de la collaboration LIGO-Virgo ont fait état de l'observation simultanée (les 14 septembre et 26 décembre 2015), par les deux détecteurs LIGO, de l'arrivée sur Terre de signaux transitoires d'ondes gravitationnelles (OG) émis lors de la coalescence de deux trous noirs. Cette découverte capitale représente à la fois la première observation du rayonnement gravitationnel dans la zone d'onde et la première preuve expérimentale détaillée des trous noirs prédits par la théorie Einstein. Elle donne aussi le coup d'envoi au lancement tant attendu de l'astronomie des ondes gravitationnelles.



Données brutes des deux détecteurs d'ondes gravitationnelles LIGO le 14 septembre 2015 (présentées par E. Chassande-Mottin à l'Académie des sciences, Paris, le 5 avril 2016 au nom de la collaboration LIGO-Virgo)

Cette découverte observationnelle exceptionnelle, qui vient couronner plus de cinquante ans de travaux expérimentaux (initiés par les premiers essais de J. Weber au début des années 60), a été étayée par de nombreuses études théoriques de l'émission du rayonnement gravitationnel par des sources potentielles. Des travaux théoriques faits à l'IHES ont contribué à cette découverte en définissant des gabarits d'OG qui ont servi (par la méthode des filtres adaptés) à extraire des données bruitées enregistrées par les détecteurs LIGO les signaux de fusion de trous noirs.



Données partiellement filtrées du détecteur LIGO situé à Hanford le 26 décembre 2015 (en rouge) et leur comparaison à une forme d'onde théorique partiellement filtrée (en noir) (B.P. Abbott et al., 2016b)

Le formalisme effective one-body (EOB)

Le formalisme EOB a été créé à l'IHES vers l'an 2000 (A. Buonanno, T. Damour et collaborateurs) ; l'objectif principal était de proposer un nouveau cadre théorique permettant une description analytique du signal gravitationnel complet, émis tout au long du processus de coalescence des systèmes binaires de trous noirs, comprenant le signal émis pendant la phase de spirale, le signal émis pendant la fusion et le signal de désexcitation du trou noir final (*ringdown*). Il a été conçu à une époque où il n'existait pas de simulations numériques capables de décrire la coalescence de systèmes binaires de trous noir, et où les méthodes théoriques existantes (basées sur la théorie post-Newtonienne – PN) n'étaient pas capables de décrire les dernières orbites avant la coalescence des systèmes binaires de trous noirs.

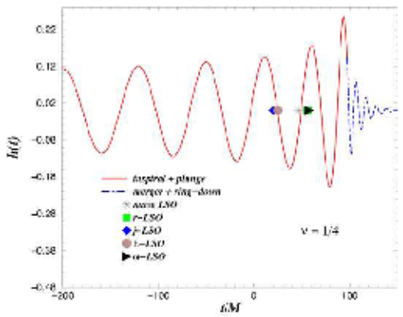
Le formalisme EOB a formulé les prédictions (quantitatives et qualitatives) suivantes, concernant à la fois la dynamique de coalescence et le rayonnement d'OG qui lui est associé :

- une transition progressive de la phase de spirale à l'orbite plongeante, laquelle n'est que la continuation régulière de la phase de spirale ;
- une transition brusque, au moment de la fusion des deux trous noirs, entre la continuation de la phase de spirale et le signal de désexcitation ;
- des estimations de l'énergie rayonnée, et de la vitesse de rotation du trou noir final résultant de la coalescence du système binaire de trous noirs.

Ces prédictions de Relativité Analytique ont été faites bien avant que des simulations de Relativité Numérique (RN) ne soient capables de décrire la fin de la phase de spirale et la fusion des systèmes binaires de trous noirs ; elles ont été confirmées pour l'essentiel par des simulations RN ultérieures. En particulier, la forme globale du gabarit d'ondes émises par la coalescence complète d'un système binaire de trous noirs sans rotation, calculé pour la première fois par A. Buonanno et T. Damour (2000), concorde plutôt bien avec les résultats de RN obtenus grâce à des avancées majeures en 2005-2006 (F. Pretorius, M. Campanelli, J. Baker et collaborateurs).

Par ailleurs, l'effet de la rotation individuelle de chaque trou noir a été étudiée dans le cadre du formalisme EOB, qui a montré que les rotations parallèles au moment angulaire orbital produisaient une émission d'énergie plus importante et un paramètre de rotation sans dimension $J/(GE^2)$ toujours inférieur à l'unité à la fin de la période la phase de spirale (de sorte qu'un trou noir de Kerr peut se former tout de suite après la fin de la phase de spirale). Ces prédictions ont été confirmées lors de simulations numériques ultérieures.

En 2002, il a été suggéré qu'on pourrait compléter et améliorer le formalisme EOB en extrayant des simulations RN des données de champ fort et en les traduisant dans le cadre analytique EOB. On a notamment insisté sur le fait que certains paramètres théoriques, non encore calculés, qui rentraient dans la description EOB pourraient être déterminés en les « ajustant au mieux » aux données numériques pertinentes. Cette stratégie EOB+RN est devenue envisageable après les progrès considérables en RN de 2005-2006, et elle a été suivie parallèlement par T. Damour et A. Nagar à l'IHES et par l'équipe d'A. Buonanno aux Etats-Unis.

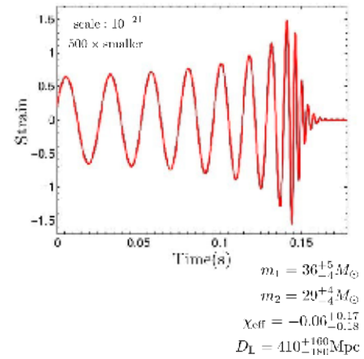


Premier calcul de l'onde gravitationnelle complète émise par la fusion de deux trous noirs (Buonanno, Damour, 2000)

L'association de plusieurs améliorations théoriques sur l'aspect analytique de la théorie EOB, notamment la factorisation et la resommation des gabarits de T. Damour, A. Nagar et B.R. Iyer (2008, 2009) avec les améliorations obtenues en ajustant certains paramètres de flexibilité aux résultats RN ont permis de définir des gabarits "EOBNR", incorporant les meilleures informations disponibles, tant sur le plan analytique que numérique.

De la même façon, la description EOB de la coalescence de systèmes binaires de trous noir avec rotation a été développée dans les années 2010 (A. Taracchini et collaborateurs, T. Damour, A. Nagar). Une classe de gabarits d'ondes gravitationnelles EOBRN de ce type a servi à la détection et à l'analyse de données lors des récentes découvertes de LIGO.

Le formalisme EOB a également été étendu à la description du signal des ondes gravitationnelles émises par des systèmes binaires d'étoiles à neutrons, jusqu'à la fusion.



Forme d'onde EOBNR-IHES pour deux trous noirs non tournants de masses $m_1=36M_{sun}$, $m_2=29M_{sun}$, correspondant à l'événement du 14 septembre 2015

Le formalisme Blanchet-Damour-Iyer (BDI)

Outre le formalisme EOB, deux autres études théoriques réalisées en partie à l'IHES ont contribué de façon déterminante à la connaissance analytique du mouvement et du rayonnement gravitationnel des systèmes binaires ; elles ont été incorporées dans le cadre EOB.

Le premier outil de ce type est le formalisme multipolaire post-minkowskien (MPM) de l'émission d'ondes gravitationnelles par des sources générales (notamment, les systèmes binaires). Ce formalisme a été ébauché à la fin des années 80, puis développé à partir des années 90 jusqu'à présent, pour arriver à un outil efficace de calcul analytique de l'émission d'ondes gravitationnelles par des sources générales (L. Blanchet, T. Damour, et B.R. Iyer). La description la plus précise à ce jour des ondes gravitationnelles émises par des systèmes binaires (due notamment aux travaux de L. Blanchet et coll.) a été obtenue grâce à ce formalisme.

La dynamique des systèmes binaires

La détermination analytique des équations du mouvement des systèmes binaires en relativité générale a également été un axe de recherche important à l'IHES.

Traditionnellement, on caractérise le degré d'exactitude du calcul analytique des équations du mouvement de deux corps selon un niveau d'approximation dit « post-newtonien ». Le premier niveau d'approximation post-newtonienne (1PN) fait référence aux équations du mouvement qui comprennent les premières corrections relativistes (d'ordre fractionnaire v^2/c^2, v étant une vitesse typique et c la vitesse de la lumière) des équations newtoniennes du mouvement. Cela fait déjà longtemps que ce degré d'exactitude a été atteint (notamment par H.A. Lorentz et J. Droste en 1917 et par A. Einstein, L. Infeld et B. Hoffmann en 1938).

Les équations relativistes du mouvement d'un système binaire au deuxième niveau d'approximation post-newtonienne, ainsi qu'au niveau deux-et-demi d'approximation post-newtonienne, ont été obtenues dans leur intégralité pour la première fois par T. Damour et N. Deruelle en 1981-1982. Ce sont ces équations du mouvement, correctes jusqu'à l'ordre v^5/c^5 et prenant en compte à la fois l'effet de la propagation de la gravité et plusieurs effets relativistes non-linéaires, qui ont donné la première explication théorique satisfaisante du changement de la période orbitale des pulsars binaires découverts par J.H. Taylor et ses collaborateurs.

Les équations relativistes du mouvement d'un système binaire au prochain degré d'exactitude, à savoir le troisième niveau d'approximation post-newtonienne (3PN) (avec des corrections fractionnaires d'ordre v^6/c^6), ont été obtenues dans leur intégralité pour la première fois en 2001 (T. Damour, P. Jaranowski et G. Schäfer). À ce degré d'exactitude, qui correspond au niveau à trois boucles lorsqu'on transpose le calcul en pseudos-diagrammes de Feynmann (T. Damour, G. Esposito-Farèse, 1996), il a fallu utiliser la méthode efficace de la régularisation dimensionnelle pour régulariser la technique formelle de remplacement des deux corps en interaction gravitationnelle par des points massiques.

Les équations relativistes du mouvement d'un système binaire au quatrième niveau d'approximation post-newtonienne (4PN) (avec des corrections fractionnaires d'ordre v^8/c^8) ont été obtenues dans leur intégralité pour la première fois assez récemment (T. Damour, P. Jaranowski, G. Schäfer, 2014). Ce résultat a été obtenu en complétant les calculs de la partie de la dynamique produite dans la zone proche du système (P. Jaranowski, G. Schäfer, 2013) avec deux autres résultats :

- la contribution au potentiel d'interaction issue d'un calcul, dit de « self-force », prenant en compte le raccord zone proche/zone de rayonnement (D. Bini, T. Damour, 2013) ;
- l'interaction non-locale dans le temps véhiculée par les effets de queue d'ondes gravitationnelles, qui a été obtenue pour la première fois avec le formalisme multipolaire post-newtonien (L. Blanchet, T. Damour, 1988).

La dynamique à l'ordre 4PN a été récemment transcrite dans le formalisme EOB (T. Damour, P. Jaranowski, G. Schäfer, 2015).

Self-force gravitationnelle autour des trous noirs

Mentionnons également que les travaux de D. Bini et T. Damour (2013) s'inscrivent dans la séquence d'études théoriques récentes, dans lesquelles la théorie des perturbations des trous noirs (à la Regge-Wheeler-Zerilli etc.) a été utilisée pour déterminer une partie des contributions à la dynamique des systèmes à un niveau élevé d'approximation PN.

Bouffées d'ondes gravitationnelles provenant de (super) cordes cosmiques

Un autre champ de recherche exploré à l'IHES, en lien direct avec l'astronomie des ondes gravitationnelles est la découverte (par T. Damour et A. Vilenkin 2000) de l'émission épisodique de bouffées, courtes et intenses, de rayonnement gravitationnel, émises par des cordes de taille cosmologique (qui pourraient être les cordes fondamentales de la théorie des supercordes, ou des cordes dites de Dirichlet). Ces bouffées (non-gaussiennes) de rayonnement gravitationnel (qui devraient se situer au-dessus du fond stochastique quasi-gaussien des ondes gravitationnelles émises par des cordes cosmiques ; A. Vilenkin), sont émises de façon dirigée par les points de rebroussement qui se forment plusieurs fois pendant chaque période d'oscillation d'une corde. Remarquablement, on a montré que ces bouffées d'OG pourraient être détectées même si la tension de la corde était de seulement $G\mu = 10^{-13}$.

Thibault Damour

Thibault Damour, professeur permanent à l'IHES depuis 1989, a reçu de nombreux prix prestigieux pendant sa carrière : il est lauréat de la Fondation Singer-Polignac (1978), médaille de bronze du CNRS (1980), prix de physique théorique « Paul Langevin » (1984), premier prix de la Gravity Research Foundation (1994), prix Mergier-Bourdeix, médaille Einstein (1996), médaille Cecil F. Powell (2005), et Prix Amaldi (2010). Il est membre de l'Académie des Sciences de Paris et de l'Institut de France.

En 2016, Thibault Damour est l'un des lauréats du *« Special Breakthrough Prize in Fundamental Physics »* pour sa contribution à la détection historique des ondes gravitationnelles. Il a également été élu membre honoraire étranger de l'Académie Américaine des Arts et des Sciences, et il a reçu le prix Lodewijk Woltjer Lecture 2016 en avril dernier.

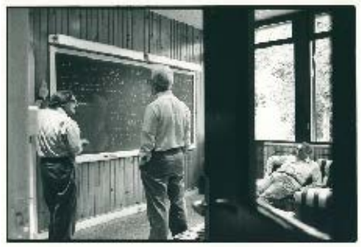
IHES, les premières années

« La recherche scientifique n'est pas un phénomène spontané de la nature qui fleurit dans les universités, mais une activité dont il faut s'occuper, qui se laisse cultiver et qui apporte au pays qui en est pourvu abondamment un surcroît considérable de prestige et de puissance politique », Léon Motchane, le fondateur de l'IHES, est un homme de convictions.
Déterminé à offrir à des scientifiques d'exception un lieu propice à l'épanouissement libre de leurs recherches, il s'inspire du modèle de l'Institute for Advanced Study (IAS) à Princeton et fonde l'IHES en 1958, dédié aux sciences théoriques, tant mathématiques que physiques et à leurs interactions.

Léon Motchane

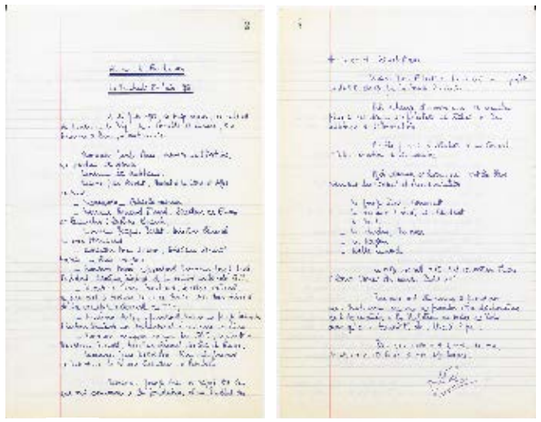
Léon Motchane est né en 1900 à Saint-Pétersbourg. Il étudie à Lausanne et y est pendant une année assistant de physique. S'il quitte le monde universitaire pour celui des affaires, il ne cesse jamais de s'intéresser aux mathématiques, à la physique et à la sociologie. Pendant la guerre, il participe aux Éditions de Minuit et y publie deux essais, dont *La Pensée patiente* en 1943, sous le pseudonyme de Thimerais. Sa passion des mathématiques le conduit à soutenir une thèse à l'âge de 54 ans et à penser la création de l'Institut.
Motchane est convaincu de deux choses : la recherche fondamentale doit être soutenue par les grands industriels et les chercheurs doivent avoir toute liberté dans leurs choix. Ces deux aspects sont la clef de voûte de l'Institut.
« Le véritable aspect moderne de la recherche scientifique consiste dans le fait que le travail d'un industriel, d'un ingénieur, comme celui d'un physicien théoricien et d'un mathématicien, fût-ce le plus abstrait, ne sont pas aussi éloignés les uns des autres et la réussite des derniers devient indispensable aux premiers. » (Note sur la recherche fondamentale, Motchane, 1959)

La création de l'Institut
Avec Maurice Ponte (CSF), Pierre Dreyfus et Fernand Picard (Régie Renault), Motchane trouve les premiers subsides nécessaires à la création de son Institut. Ces premiers soutiens, très actifs, lui permettent de rallier d'autres patrons de grandes industries (notamment pétrolières et automobiles) très rapidement.
Dans le bureau de Joseph Pérès (Institut de France) le 27 juin 1958, Motchane, à qui l'on doit l'essentiel du travail préliminaire, déclare vouloir *« arrêter l'hémorragie française vers les États-Unis »* : l'Institut est né et il en devient le premier directeur.



L'IHES dans les années 60

Les Publications Mathématiques de l'IHES
Dès la création de l'IHES, Motchane souhaite lancer une publication scientifique. Depuis l'université de Northwestern, Illinois, Dieudonné pilote avec Motchane le premier numéro des *Publications Mathématiques de l'IHES* dès l'automne 1958, avant même de prendre officiellement son poste de professeur permanent dans la section de mathématique avec Alexandre Grothendieck au début de l'année 1959.
Motchane a une certaine expérience de l'édition acquise pendant la guerre. L'impression des « cahiers bleus » est très appréciée de Dieudonné, pourtant habitué de l'édition mathématique – il a notamment rédigé un grand nombre des traités des *Éléments de mathématique* de Bourbaki.
« Bien reçu les premières épreuves de l'article de Wall. Comme typographie, c'est excellent, agréable à l'oeil et très lisible ; il serait à souhaiter que tous les périodiques impriment de la même façon, je crois que nous allons donner le ton ! » déclare-t-il à propos des épreuves du premier numéro.



Assemblée générale de fondation, 27 juin 1958

Le choix du « Bois-Marie »
Lorsque l'Institut est créé en 1958, il ne possède pas de locaux. Les premiers séminaires ont lieu dans deux pièces, prêtées au sein de la Fondation Thiers (Paris XVIe). Si cela n'empêche pas le développement de la section de mathématiques, les physiciens sont quant à eux préoccupés par l'installation définitive de l'Institut. Lors d'une réunion avec des physiciens renommés soutenant le projet de Motchane, ils formulent leurs souhaits : l'Institut doit s'installer à côté d'un centre de physique expérimental.
Même si la physique qui se fait à l'IHES est théorique, elle ne peut se couper de la physique expérimentale. Ils proposent alors de s'installer à proximité des laboratoires modernes qui viennent d'être construits à Orsay, où une antenne de la faculté des sciences de Paris ouvre à la fin des années 50. Motchane achète la propriété « Bois-Marie » de Charles Comar à Bures-sur-Yvette et l'IHES s'y installe en 1962.

Séminaire de géométrie algébrique dans le pavillon de musique

L'esprit du lieu
Si les physiciens ont l'habitude d'exercer dans un laboratoire, il n'en est pas de même des mathématiciens qui, traditionnellement, travaillent chez eux, et se rencontrent à l'occasion de séminaires, qui se développent en grand nombre après la Seconde Guerre Mondiale. Au moment de la création de l'Institut, l'idée d'un lieu où se retrouver pour échanger et la possibilité d'avoir des bureaux est précurseur. Les premiers laboratoires de mathématiques apparaissent quelques années plus tard, vers le milieu des années 60 (centre de mathématiques Laurent Schwartz à l'École polytechnique, laboratoire de mathématiques associé au CNRS à Strasbourg).
Pendant les premières années de l'Institut, le pavillon de musique sert à la fois de bibliothèque et de salle de séminaires. Il abrite notamment le fameux « séminaire de géométrie algébrique » de Grothendieck (SGA), qui offre à l'IHES une renommée internationale dès les premières années de son existence.
L'IHES s'inspire explicitement du modèle de l'IAS dans ses grandes lignes intellectuelles – un institut de haut niveau offrant toute liberté à quelques chercheurs – mais aussi certaines pratiques matérielles, comme le thé quotidien, propice aux échanges.

Ce texte est extrait de l'exposition conçue et réalisée par Anne-Sandrine Paumier (IHES « Patrimoine scientifique de l'IHES », organisée dans le cadre des « Journées du Patrimoine 2016 ». Les documents d'archives présentés lors de l'exposition, ainsi qu'une sélections d'archives historiques de l'IHES, ont été numérisés avec l'aide d'une subvention de la Diagonale Paris-Saclay. Pour en savoir plus sur ses actions : www.ladiagonale-paris-saclay.fr/nos-actions/jep2016

campagne internationale

Dîner des grands donateurs

« Avec sept médaillés Fields sur dix professeurs permanents recrutés à l'IHES depuis sa création, l'Institut attire parmi les plus grands noms de la recherche fondamentale au monde. Il est important pour un groupe comme BNP Paribas qui utilise quotidiennement des mathématiques avancées pour la gestion de ses risques et de ceux de ses clients de soutenir cette excellence scientifique » a précisé J.-L. Bonnafé, Administrateur Directeur Général de BNP Paribas à l'occasion du dîner en l'honneur des grands donateurs de l'IHES qui s'est tenu le 20 mai 2016 à Paris.
Cette soirée a permis de célébrer à la fois le don de BNP Paribas de 1 M€ aux fonds propres de l'IHES et la clôture du don-défi par les philanthropes américains M. et J. Simons. L'Institut a en effet réussi à collecter plus de 5 M€ en moins de quatre ans et déclenché le mécanisme du challenge qui doublait tous les dons reçus pendant cette période. Lors de son allocution très personnelle, J. Simons a rappelé les grands mathématiciens français qui avaient influencé son travail, parmi lesquels M. Berger, ancien directeur de l'IHES (1985-1994).

Jim Simons, Emmanuel Ullmo, Marwan Lahoud, Jean-Laurent Bonnafé

De nombreuses personnalités ont participé à ce dîner autour des administrateurs de l'IHES et de ses grands donateurs : les professeurs permanents T. Damour, H. Duminil-Copin et M. Kontsevitch, le président du Conseil européen de la recherche et ancien directeur de l'IHES, J.-P. Bourguignon et l'ancien président de la Banque centrale européenne J.-C. Trichet.

Don de 1 M€ de la Caisse des Dépôts

Le premier partenariat entre l'IHES et la Caisse des Dépôts remonte à 1962, lorsque celle-ci a fourni à l'Institut le prêt lui ayant permis d'acquérir le domaine de Bois-Marie où il est installé depuis lors. La résidence de l'Ormaille permet de loger les quelque 200 chercheurs invités, qui viennent à l'Institut chaque année ; assurer l'entretien et la rénovation de cet ensemble de logements est absolument crucial pour l'IHES. Avec le premier don de 1 M€ en 2003, puis la création d'un « fonds infrastructures » dans les fonds propres de l'Institut grâce à une dotation de 2 M€ en 2008, la Caisse des Dépôts contribue directement à la qualité de la recherche fondamentale.
Entrée au Conseil d'Administration en mai 2014 en qualité de membre fondateur, la Caisse des Dépôts devient le principal mécène français de l'Institut avec le don de février 2016. *« La Caisse des Dépôts prouve à nouveau son engagement de long terme auprès des sciences fondamentales et l'IHES souhaite lui témoigner sa profonde reconnaissance »* a déclaré E. Hermand, secrétaire général de l'IHES.

Rénovation d'un pavillon à la résidence de l'Ormaille

Le Cercle des Mécènes de l'IHES

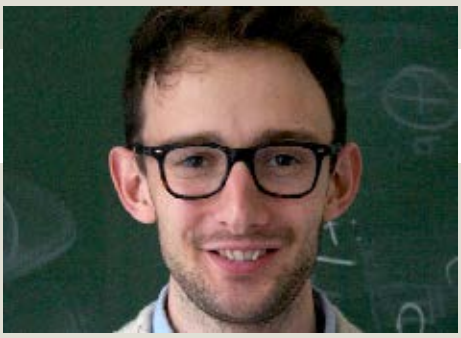
Dans le cadre de sa nouvelle campagne de levée de fonds, le Cercle des Mécènes de l'IHES a pour vocation de rassembler des partenaires, entreprises et particuliers, qui partagent la passion de la science et s'engage pour préserver le modèle de recherche de l'IHES.
Le lancement du Cercle a eu lieu le 1er juillet à l'invitation des deux présidents de campagne, Ph. Camus et A. Lévy-Lang, en présence d'une vingtaine de participants.
L'adhésion annuelle permet de soutenir le budget de fonctionnement de l'Institut et constitue un incroyable encouragement pour les scientifiques de l'Institut.

Semaine new-yorkaise de Thibault Damour

Invité par la librairie Albertine à New York pour un exposé sur Proust et Einstein, T. Damour en a profité pour donner deux conférences sur la récente détection des ondes gravitationnelles organisées par *Friends of IHES*. Spécialiste de la relativité générale, il a mis au point en 2000, avec plusieurs collaborateurs, une nouvelle méthode qui a donné la première prédiction du signal d'ondes gravitationnelles observé par LIGO en septembre 2015. Qu'il s'agisse des étudiants du *Graduate Center* de la *City University of New York* ou du réseau américain de l'IHES venus l'écouter respectivement les 21 et 22 juin 2016, les participants ont pu apprécier les qualités de conférencier de T. Damour qui a su partager avec enthousiasme cette extraordinaire découverte.

Le 23 juin, c'est sur un sujet plus littéraire qu'il intervenait puisqu'il évoquait la question du temps chez Proust et Einstein. Un exposé inédit qui a ravi les scientifiques comme les proustiens, réunis dans la prestigieuse librairie de la Ve avenue.

point de vue de...



Christopher M. Daw est un jeune post-doctorant britannique en mathématique. Il a obtenu son doctorat à University College London en 2014 puis a passé un an et demi à l'Institut comme lauréat William Hodge. Il vient d'obtenir un poste à l'université de Reading (Royaume-Uni).
Financé par l'EPSRC, ce programme offre la possibilité à deux post-doctorants, en mathématique ou en physique théorique, d'effectuer un séjour d'une ou deux années à l'IHES.

J'ai été post-doctorant à l'IHES grâce au programme William Hodge, du 1er octobre 2014 au 26 janvier 2016. Depuis sa création, l'IHES a été un foyer, temporaire ou permanent, pour les physiciens et mathématiciens les plus talentueux du monde. J'ai toujours été attiré par l'Institut en raison de la riche histoire des mathématiques à laquelle il a participé.
Avant de venir à l'IHES, j'étais doctorant avec A.Yafaev à l'University College London. Là, je me suis intéressé à ce qu'on appelle les « intersections improbables » en géométrie diophantienne. Une « intersection improbable » est le phénomène qui se produit lorsque deux objets géométriques de petite dimension se rencontrent à l'intérieur d'un espace de dimension beaucoup plus grande. Je m'intéresse au fait qu'un objet fixe dans une variété de Shimura a de nombreuses intersections improbables avec les soi-disant « sous-variétés spéciales ». E. Ullmo, directeur de l'institut, est à l'avant-garde de ce sujet depuis de nombreuses années et je voulais particulièrement venir à l'IHES afin d'avoir la possibilité de travailler avec lui.
Les domaines des professeurs permanents de l'Institut sont vastes et ces derniers sont tout autant enthousiastes de discuter avec des jeunes chercheurs qu'avec des chercheurs plus expérimentés. Malgré sa charge de travail administratif, Emmanuel a toujours pris le temps pour moi et j'ai beaucoup appris avec lui. Nous avons travaillé ensemble sur le problème de description de la limite d'une suite de mesures de probabilité sur une variété de Shimura lorsque de telles mesures sont associées à des sous-variétés spéciales. Notre collaboration a continué au-delà de mon séjour, à travers de nombreux e-mails et conversations sur Skype, et il a ajouté une nouvelle dimension à ma recherche.
L'IHES est situé à Bois-Marie, une forêt près du petit village de Bures-sur-Yvette. C'est l'endroit idéal pour travailler, avec des vues sur les environs boisés depuis les grandes fenêtres du bureau. Dans le centre de Bures, il y a les commodités essentielles.
Le campus d'Orsay est très proche et j'ai régulièrement assisté aux séminaires de géométrie arithmétique à l'université Paris-Sud. On peut également facilement accéder à l'ensemble de Paris en train et je n'ai eu que l'embarras du choix pour assister aux exposés dans la ville. J'ai aussi eu la chance d'être invité à parler de mon propre travail, à Paris et dans d'autres universités à seulement quelques heures de route.
Je vivais à quelques pas de l'Institut dans la résidence de l'Ormaille où, les soirs d'été, les chercheurs se réunissent pour jouer au volley-ball. On m'a fourni un studio spacieux équipé de tout ce qu'il fallait. L'IHES fait de grands efforts pour rendre les choses faciles pour ses chercheurs invités afin qu'ils puissent se consacrer à leurs travaux. Chaque jour de la semaine, le déjeuner, à 13h, et le thé de 16h sont d'excellentes occasions de discuter avec d'autres scientifiques. L'Institut accueille de nombreux mathématiciens du monde entier, pour des conférences, des cours, ou tout simplement en tant que professeur invité. Il y a aussi un nombre croissant de post-doctorants à l'Institut, et je me suis fait de nombreux amis pendant mon séjour. Nous avons souvent pris le RER pour aller à Paris ensemble, pour dîner ou pour explorer la ville. Le week-end, nous avons joué régulièrement au tennis à la Cité Universitaire.
Malheureusement, quand je suis arrivé en France, mon français était essentiellement inexistant. Cependant, près de la résidence de l'Ormaille, il y a une petite école de langue où, le mardi et le jeudi soir, je passais deux très agréables heures à apprendre le français avec d'autres nouveaux arrivants. Au thé, une fois que je me sentais un peu plus confiant, j'étais en mesure de pratiquer la langue française avec les locuteurs natifs, qui étaient tous très patients ! Je sens que, à la fin de mon séjour, j'avais fait de grands progrès. (NDLR ce texte a été rédigé en français)
À l'IHES, j'ai été en mesure de poursuivre mon travail intensément, et de cultiver une plus grande compréhension de sa place dans le paysage mathématique plus large. J'étais entouré de gens inspirants et j'ai pu mûrir en tant que chercheur. Je suis très impatient de pouvoir revenir à l'IHES !

agenda 2016/2017

du 7 au 9 septembre 2016, IHES
Rentrée des Masters de la FMJH

septembre 2016, IHES
Cours de l'IHES : J. Miller, *« Equivalence of Liouville Quantum Gravity and the Brownian Map »*

17 septembre 2016, IHES
Portes ouvertes à l'occasion des Journées du Patrimoine

10 octobre 2016, IHES
Rentrée de l'École doctorale mathématique Hadamard

12 octobre 2016, IHES
6ème séminaire Itzykson sur la physique statistique hors équilibre

octobre 2016, IHES
Cours de l'IHES : S. Zhang, *« Faltings Heights and L-functions »*

10 novembre 2016, IHES
Conférence de T. Damour organisée par Les Amis de l'IHES

décembre 2016, IHP
Cours de l'IHES : T. Damour, « Ondes gravitationnelles et systèmes binaires »

mars 2017, IHES
Cours de l'IHES : C. Soulé, *« On the Arakelov Theory of Arithmetic Surfaces »*

mars 2017, IHES
Cours de l'IHES : H. Duminil-Copin, *« Sharp Threshold Phenomena in Statistical Physics »*

avril 2017, IHES
Cours de l'IHES : M. Kontsevitch, « Resurgence and Quantization »

du 2 au 5 mai 2017, IHES
Mini-workshop organisé par H. Duminil-Copin

du 17 au 28 juillet 2017, IHES
École d'été *« On Spectral Properties of Large Random Objects »*, organisée par N. Curien, H. Duminil-Copin, J.-F. Le Gall, S. Nonnenmacher

La chaîne YouTube de l'IHES compte maintenant plus de 5000 abonnés. Retrouvez la plupart des événements scientifiques :

IHES
Institut des Hautes Études Scientifiques

Photos : Fonds IHES, M.-C. Vergne - *Réalisation :* C. Brisson, M. Caillat, V. Touchant-Landais