

ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES

INTERDISCIPLINARY EUROPEAN ACADEMY OF SCIENCES



Colloque AEIS-2026
**INTERDISCIPLINARITÉ, INSTRUMENTATION,
EXPÉRIMENTATION ET SIMULATION**

Jeudi 15 et vendredi 16 janvier 2026
Amphithéâtre Hermite - Institut Henri Poincaré
11, rue Pierre et Marie Curie - 75005 Paris

LISTE DES RÉSUMÉS dans l'ordre du Programme

N° Date horaire	<i>Auteur</i> <i>Résumé/Abstract</i>
1 Jeudi 15 Janvier	<p><i>Nathalie BESSON</i> <i>Ex-Directrice scientifique à l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules, IN2P3/CNRS ; ancienne présidente, Conseil du CERN</i> <i>Laboratoire LEPRINCE-RINGUET, École Polytechnique</i></p> <p><i>« L'Univers, le Boson de Higgs et le CERN »</i></p> <p>Quel lien peut-il y avoir entre l'Univers et le boson de Higgs ? Au fil du temps, le modèle standard de la cosmologie et celui de la physique des particules ont réussi à résumer les lois fondamentales qui gouvernent notre Univers. La découverte au CERN en 2012 du boson de Higgs aux côtés d'autres particules élémentaires a permis d'expliquer la masse des particules et ainsi trouver une nouvelle pièce du puzzle cosmique. Mais ce n'est certainement pas la dernière ! Les futurs accélérateurs du CERN et la nouvelle génération d'observatoires vont permettre d'avancer dans notre compréhension. Car pour expliquer l'infiniment grand, il faut aussi comprendre l'infiniment petit.</p> <p><i>« Universe, Higgs Boson and CERN »</i></p> <p>What connection could there be between the Universe and the Higgs Boson? Over time, the standard model of cosmology and that of particle physics have succeeded in summarizing the fundamental laws that govern our Universe. The discovery at CERN in 2012 of the Higgs Boson alongside other elementary particles made it possible to explain the mass of particles and thus find a new piece of the cosmic puzzle. But it is certainly not the last! CERN's future accelerators and the new generation of observatories will help advance our understanding. Because to explain the infinitely large, we must also understand the infinitely small.</p>

<p>2 Jeudi 15 Janvier</p>	<p style="text-align: center;">Christophe PICHON <i>Directeur de recherche au C.N.R.S. Institut d'astrophysique de Paris</i> <i>Sorbonne Université / CNRS-UMR 7095</i></p> <p style="text-align: center;">« Émergence cosmique des disques galactiques : l'ordre à partir du chaos »</p> <p>Une modélisation précise de la diversité morphologique des galaxies en fonction du temps cosmique est essentielle pour contraindre notre modèle cosmologique avec précision. Alors que la résilience des disques galactiques minces est une énigme dans le cadre du scénario hiérarchique, il apparaît maintenant que leur autorégulation par dissipation est essentielle pour expliquer leur survie. Leur morphologie initiale est déterminée par l'acquisition de moment angulaire, provenant d'échelles plus grandes, qui sont moins denses, donc plus stationnaires. Cette accretion cosmique crée un réservoir d'énergie libre dans le milieu circum-galactique, à partir duquel les disques construisent spontanément une boucle de contrôle par effets de marées qui les maintient proche de leur stabilité marginale. Les disques galactiques minces sont donc des structures émergentes, maintenues par auto-organisation critique.</p> <p style="text-align: center;">« Cosmic emergence of galactic discs: order from chaos »</p> <p>A precise modelling of galaxies' morphological diversity along cosmic time is essential to accurately constrain our cosmologic model. While resilience of thin galactic discs is an enigma within the hierarchical scenario, it now appears that their self-regulation through dissipation is essential to explain their survival. Their initial morphology is determined by the acquisition of an angular momentum, coming from larger scales, which are less dense, thus more stable. This cosmic accretion creates a reservoir of free energy in the circum-galactic environment, from which discs spontaneously build a control loop through tidal effects which maintain them close to their marginal stability. Thin galactic discs are thus emergent structures, maintained through critical self-organization.</p>
<p>3 Jeudi 15 Janvier</p>	<p style="text-align: center;">Marie-Anne BIZOUARD <i>Directrice de Recherche CNRS Laboratoire Astrophysique relativiste,</i> <i>Théories, expériences, métrologie, instrumentation, signaux</i> <i>Arthémis, unité CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur/Université de la côte d'Azur</i></p> <p style="text-align: center;">« Sonder l'univers avec les ondes gravitationnelles »</p> <p>Nous célébrons le 10e anniversaire de la première détection des ondes gravitationnelles émises lors de la collision de deux trous noirs en coalescence. Les ondes gravitationnelles sont désormais détectées régulièrement par les détecteurs terrestres LIGO et Virgo. Elles constituent un outil unique pour étudier les objets compacts, les étoiles à neutrons et les trous noirs, et donc les mécanismes astrophysiques qui régissent leur formation. Elles nous permettent également de tester la physique fondamentale et les modèles cosmologiques. Je présenterai les observations les plus récentes de la collaboration LIGO-Virgo-KAGRA rassemblées dans le quatrième catalogue des ondes gravitationnelles transitoires. Je discuterai des implications de ces observations sur les canaux de formation binaire et la physique stellaire. J'aborderai également les implications de la recherche d'autres types d'émetteurs d'ondes gravitationnelles et esquisserai brièvement l'avenir de cette nouvelle astronomie.</p> <p style="text-align: center;">« Gravitational-wave astronomy: a new way to probe the Universe »</p> <p>We are celebrating the 10th anniversary of the first detection of gravitational waves emitted by two colliding black holes. Gravitational waves are now detected routinely by the ground-based detectors LIGO and Virgo. They are a unique probe to study compact objects, neutron stars and black holes, and thus the astrophysical mechanisms governing their formation. They also allow us to test fundamental physics and cosmological models. I will present the most recent observations of the LIGO-Virgo-KAGRA collaboration collected in the Fourth Gravitational Wave Transient Catalog. I will discuss the implications of these observations on binary formation channels and stellar physics. I will also the implications of the search for other types of gravitational-wave emitters and briefly sketch the future of this new astronomy.</p>

<p>4 Jeudi 15 Janvier</p>	<p style="text-align: center;"><i>Daniel ESTÈVE</i> <i>Membre de l'Académie des Sciences</i> <i>Quantronics group, SPEC, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, CEA Saclay</i></p> <p style="text-align: center;">« Résonance Magnétique Ultime »</p> <p>La résonance paramagnétique électronique fournit des méthodes puissantes pour analyser finement la matière en mesurant la réponse de spins électroniques placés dans un champ magnétique à une excitation micro-onde. Cette technique demande cependant d'utiliser un grand nombre de spins, avec environ 10^{15} spins par Hz de fréquence de résonance dans un spectromètre à température ambiante. En mesurant à très basse température et avec des amplificateurs quantiques sans bruit ajouté la réponse de spins électroniques fortement couplés à des nanorésonateurs micro-ondes, le groupe Quantronique a récemment atteint une sensibilité de 10 spins/Hz. Avec une nouvelle méthode de résonance magnétique basée sur la détection du photon micro-onde de fluorescence unique produit par un spin électronique unique durant sa relaxation, la résonance magnétique sur un spin électronique unique a été réalisée. La résonance magnétique sur un spin nucléaire unique couplé à un tel spin électronique a été ensuite démontrée. Je décrirai ces progrès en détection ultra-sensible et les perspectives qu'ils ouvrent.</p> <p style="text-align: center;">« Ultimate Magnetic Resonance »</p> <p>Electron Paramagnetic Resonance provides a powerful method for finely analyzing matter by measuring the response of electron spins placed in a magnetic field to microwave excitation. However, this technique requires the use of a large number of spins, with around 10^{15} spins per Hz of resonance frequency in a spectrometer at room temperature. By measuring at very low temperature the response of electron spins strongly coupled to microwave nano-resonators using noise-free quantum amplifiers, the Quantronics group has recently achieved a sensitivity of 10 spins/Hz. With a new magnetic resonance method based on the detection of the single fluorescence microwave photon produced by a single electron spin during its relaxation process, magnetic resonance on a single electron spin has been demonstrated. Magnetic resonance experiments on a single nuclear spin coupled to such an electron spin have been demonstrated subsequently. I will describe these advances in ultra-sensitive detection and the prospects they open up.</p>
<p>5 Jeudi 15 Janvier</p>	<p style="text-align: center;"><i>Marc HIMBERT</i> <i>Professeur, Métrologie, CNAM-Paris</i> <i>Laboratoire National de Métrologie</i> <i>St Denis, Paris, Trappes</i></p> <p style="text-align: center;">« La science est devenue la mesure de toute chose »</p> <p>Fin 2018 la Conférence générale des poids et mesures a promulgué de nouvelles définitions pour les unités de mesures (kilogramme, kelvin, ampère, mole...) établissant celles-ci à partir de constantes physiques fondamentales. Cette véritable révolution du Système international d'unités, mise en oeuvre à l'issue de décennies de travail métrologique coordonné, ouvre la voie à de nouveaux principes de mesure à l'échelle atomique et quantique. L'exposé s'attachera à présenter le contour de cette révolution et à esquisser certaines de ses conséquences, et évoquera le futur des évolutions du SI.</p> <p style="text-align: center;">« Science has become the measure of everything »</p> <p>At the end of 2018, the General Conference on Weights and Measures promulgated new definitions for units of measurement (kilogram, kelvin, ampere, mole, etc.), establishing them based on fundamental physical constants. This true revolution in the International System of Units, implemented following decades of coordinated metrological work, paves the way for new measurement principles at the atomic and quantum scales.</p> <p>This presentation will outline this revolution and outline some of its consequences, and will discuss the future developments of the SI.</p>

6
Jeudi 15
Janvier

Christophe SALOMON

*Membre de l'Académie des Sciences, Directeur de recherches au C.N.R.S.
École Normale Supérieure - Département de Physique, Laboratoire Kastler Brossel*

« Mesure du temps au XXI^{ème} siècle »

Il y a 100 ans, Albert Einstein publiait ses fameuses équations de la relativité générale, liant espace-temps, matière et énergie. Sa théorie a bouleversé les concepts de temps et d'espace absolus qui prévalaient jusque-là. Depuis cette époque, les tests de relativité générale se sont multipliés avec une précision croissante et ont tous confirmé ses prédictions. Pourtant, la connaissance de notre univers est loin d'être complète et la compréhension de la matière noire et de l'énergie noire constituent des défis pour la physique de notre époque.

Les horloges jouent un rôle central dans la plupart des tests de relativité et les horloges atomiques ont fait des progrès considérables au cours des dernières décennies. Les horloges modernes les plus stables présentent une erreur qui n'excède pas une seconde sur l'âge de l'univers ! Dans cet exposé, nous décrirons leur principe de fonctionnement et leurs performances. Ces instruments ultra précis possèdent de nombreuses applications et permettent de réaliser des tests très fins de physique fondamentale. Nous en donnerons deux exemples, la recherche d'une éventuelle dérive des constantes fondamentales, comme la constante de structure fine décrivant l'intensité de l'interaction électromagnétique, et un test de l'effet Einstein avec une horloge à atomes refroidis par laser en satellite dans le cadre de la mission spatiale européenne ACES/PHARAO. Nous terminerons par quelques perspectives et applications.

« Measure of time at the XXIst century »

100 years ago, Albert Einstein published his famous equations on General Relativity linking space-time, matter and energy. His theory overturned the concepts of absolute time and space that were prevailing at the time. Since then, experimental tests of general relativity have multiplied with ever-increasing precision and, up to now, they have all confirmed Einstein's theory. However, our knowledge of the Universe is far from complete and the understanding of dark matter and dark energy are challenges for present-day physics.

In most tests of General Relativity clocks play a central role and atomic clocks have made spectacular progress over the last decades. Today's best clocks are so stable that they would accumulate an error of less than one second over the age of the Universe. In this talk, we will describe their principle of operation and performances. These ultra-stable instruments have a wide range of applications and enable one to perform refined tests in fundamental physics. We will focus on two examples, the search for a drift of fundamental physical constants such as the fine structure constant characterizing the strength of electromagnetic interaction, and a test of the Einstein effect (the clock gravitational shift) using a laser cooled atomic clock onboard a satellite in the frame of the European mission ACES/PHARAO. We will conclude with a few perspectives and future applications

« Réalisations quantiques de l'ampère et des unités électriques »

Depuis 2018, les unités du Système international (SI) sont définies en fixant les valeurs de sept constantes physiques, dont la constante de Planck h et la charge élémentaire e . L'ampère, unité de base de l'électricité, est désormais lié à e , et non plus au newton, ce qui permet de réaliser les unités électriques avec une précision exceptionnelle grâce aux phénomènes quantiques. L'effet Josephson et l'effet Hall quantique ont particulièrement révolutionné la métrologie électrique en fournissant des réalisations exactes du Volt et de l'Ohm respectivement à partir des constantes $2e/h$ et h/e^2 , avec une incertitude relative inférieure à 10^{-9} . Les progrès continus de la nanofabrication et la découverte de nouveaux matériaux tels que le graphène ou les isolants topologiques magnétiques permettent aux métrologues de développer des étalons quantiques de tension et de résistance plus pratiques et polyvalents, avec des applications plus larges accessibles aux utilisateurs au-delà des instituts nationaux de métrologie. Cependant, le développement d'un étalon quantique de courant capable de contrôler un flux de charges élémentaires avec une incertitude de mesure cible inférieure à 10^{-8} reste un défi. Malgré de nombreux efforts, les nanodispositifs manipulant les électrons un par un n'ont jamais démontré une telle précision pour un flux de charge net. La méthode alternative fondée sur l'application de la loi d'Ohm aux étalons quantiques de tension et de résistance a récemment atteint l'incertitude cible dans la gamme de courant du milliampère, mais cela s'est fait au prix de l'application de corrections d'erreurs. Plus récemment, un nouveau générateur de courant quantique programmable, qui combine à la fois des étalons quantiques et un amplificateur cryogénique supraconducteur dans un circuit électrique quantique, a démontré la génération de courant sans erreur. Des courants de l'ordre du microampère sont générés à des valeurs quantifiées, $\pm(n/p)ef_J$, avec des incertitudes relatives record inférieures à 10^{-8} , où n et p sont des paramètres de contrôle entiers et f_J est la fréquence Josephson. Au cœur d'une instrumentation quantique complète comprenant plusieurs dispositifs quantiques, le nouvel étalon quantique de courant jette les bases d'une réalisation quantique universelle des unités électriques de tension, de courant et même de résistance, dans le cadre d'une seule expérience.

« Quantum realizations of the ampere and electrical units »

Since 2018, the units of the International System (SI) have been defined by fixing the values of seven physical constants, including the Planck constant h and the elementary charge e . The ampere, the base electric unit, is now linked to e , and no longer to the newton, enabling electrical units to be realized with exceptional accuracy using quantum phenomena. The Josephson effect and the quantum Hall effect have particularly revolutionized the electrical metrology by providing accurate realizations of the volt and the ohm from $2e/h$ and h/e^2 constants, respectively, with a relative uncertainty below 10^{-9} . Continuous progresses of nanofabrication and discovery of new materials such as graphene or magnetic topological insulators enable metrologists to develop quantum voltage and resistance standards that are more practical and versatile, with broader applications accessible to users beyond national metrology institutes. However, developing a quantum current standard capable of controlling a flow of elementary charges with a target measurement uncertainty below 10^{-8} remains challenging. Despite many efforts, nanodevices handling electrons one by one have never demonstrated such an accuracy for a net flow. The alternative route based on applying Ohm's law to the Josephson voltage and quantum Hall resistance standards recently reached the target uncertainty in the milliamperere range, but this was at the expense of the application of error corrections. More recently, a new programmable quantum current generator, which combines both quantum standards and a superconducting cryogenic amplifier in a quantum electrical circuit, demonstrated current generation without errors. Currents in the microampere range are generated at quantized values of $\pm(n/p)ef_J$ with record relative uncertainties below 10^{-8} , where n and p are integer control parameters and f_J is the Josephson frequency. At the heart of a complete quantum instrumentation comprising several quantum devices, the new quantum current standard lays the foundations for a universal quantum realisation of the electrical units of voltage, current and even resistance, within a single experiment.

8
Jeudi 15
Janvier

Jean SUSINI

Directeur Général du Synchrotron SOLEIL

« Les sources de synchrotrons à très faible émittance : un nouveau paradigme pour la caractérisation de la matière dans tous ses états »

Situé au cœur du pôle scientifique Paris-Saclay, le synchrotron SOLEIL est l'une des Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR) françaises. SOLEIL est à la fois une plateforme ouverte à l'ensemble des communautés académiques et industrielles, un laboratoire de recherche pluridisciplinaire et un lieu d'accueil de tous les publics pour partager la culture scientifique. SOLEIL est constituée en société civile fondée conjointement par le CNRS et le CEA. Plus concrètement, les accélérateurs de SOLEIL produisent du rayonnement synchrotron, une lumière extrêmement brillante qui permet d'explorer la matière inerte ou biologique jusqu'à l'échelle atomique. La lumière produite couvre une large gamme de longueurs d'onde (des infrarouges aux rayons X) et est exploitée pour mener des expériences dans divers domaines, en physique, biologie, chimie, et médecine. Au cours des trois dernières décennies, les communautés scientifiques utilisant le rayonnement synchrotron ont connu une véritable révolution avec l'avènement des accélérateurs à très faible émittance, dits sources de quatrième génération. L'objectif est d'atteindre des performances inégalées en termes de brillance spectrale, de flux cohérent et de capacités de nano-focalisation. Ces propriétés nouvelles ont engendré des progrès concomitants dans les domaines de l'optique et des détecteurs pour rayons X, ainsi que dans celui des algorithmes d'analyse des données. Dans cette dynamique, un programme de modernisation de SOLEIL, appelé SOLEIL II, visant à doter le synchrotron français d'une source de quatrième génération, a été lancé en 2021.

Après une introduction sur la production du rayonnement synchrotron et les principaux concepts à l'origine de la réalisation de sources synchrotron à faible émittance et à forte brillance, les nouvelles techniques de caractérisation et leur potentiel pour de nouvelles applications seront discutés à partir d'exemples concrets issus des deux centres synchrotrons en opération en France : le Synchrotron SOLEIL et le synchrotron européen (ESRF) à Grenoble. Dans sa seconde partie, l'exposé se concentrera sur les techniques d'imagerie à rayons X à haute résolution qui sont apparues ces dernières années avec les sources de rayonnement synchrotron de quatrième génération.

« Ultra-low emittance synchrotron sources: a new paradigm for the characterization of matter in all its states »

SOLEIL, located in the Paris-Saclay scientific park, is one of France's Very Large Research Infrastructures (TGIR). As a characterisation platform open to all academic and industrial communities, a multidisciplinary research laboratory, and a place welcoming all audiences to share scientific culture, SOLEIL is a civil society jointly founded by CNRS and CEA. The SOLEIL accelerators produce synchrotron radiation, an extremely bright light which makes it possible to explore inert or biological matter down to the atomic scale. The light produced covers a wide range of wavelengths (from infrared to X-rays) and is used to conduct experiments in various fields, including physics, biology, chemistry and medicine. Over the last three decades, the scientific communities using synchrotron radiation have experienced a dramatic transformation with the introduction of very low emittance accelerators, commonly referred to as fourth generation sources. The objective is to reach unparalleled performance in terms of spectral brilliance, coherent flux and nano-focusing capabilities. These novel properties have stimulated concomitant progress in the domains of optics and X-ray detectors, as well as in data analysis algorithms. In this dynamic, a SOLEIL modernisation program, called SOLEIL II and aimed at providing the French synchrotron with a fourth-generation source, was launched in 2021.

Following a basic introduction to the production of synchrotron radiation and the main concepts behind the creation of low emittance and high brightness synchrotron sources, new characterisation techniques and their potential for new applications will be discussed. This presentation will be based on concrete examples of applications from the two synchrotron centres operating in France: the SOLEIL synchrotron and the European synchrotron (ESRF) in Grenoble. In the second part of the talk, we will focus on high-resolution X-ray imaging techniques that have emerged in recent years with fourth-generation synchrotron radiation sources.

Nicolas BOULANT*Directeur de Recherche, NeuroSpin, CEA***« L'Odyssée du projet Iseult
des premières idées aux premières images in vivo »**

Le projet Iseult est parti d'une idée de 2001 : concevoir et fabriquer un explorateur de cerveau humain, i.e. un appareil d'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) d'intensité de champ magnétique inégalée de 11.7 Teslas. Malgré la puissance et les ressources de grands industriels tels que General Electric, Philips et Siemens, aucun acteur de la communauté n'avait pu répondre présent à l'appel, jugeant le projet utopique alors que le plus puissant IRM humain atteignait alors la valeur de 7 Teslas, était unique au monde et présentait déjà de grands défis technologiques.

Le département Irfu du CEA alliant des expertises en magnétisme, supraconductivité, automatisme, cryogénie, acquises pour les grands instruments de la physique (accélérateurs de particules) répondit avec une étude de faisabilité. De là est né le projet Iseult, avec un financement acquis en 2004, fédérant à travers les années environ 200 personnes.

Treize années se sont ensuite écoulées de développements, de tests, de prototypage et de construction à Belfort (usine Alstom, maintenant GE) avant de livrer l'aimant de 11.7 Teslas, la pièce maîtresse de l'IRM, à NeuroSpin au CEA de Saclay. Siemens greffa ensuite les autres organes constituant dans leur totalité un IRM, capable de faire des images de manière non invasive de cerveau humain. Deux années ont été consacrées à effectuer des tests d'interaction gradient-aimant, destinés à étudier la physique de l'instrument (vibrations, acoustique, magnétisme et imagerie), une mauvaise compréhension et maîtrise de cette dernière pouvant entraîner une casse irréversible de la machine (quench).

Après avoir mené à bien cette campagne, et après avoir sécurisé l'installation, les premières images sur potimarron ont pu être dévoilées. Exposer des êtres humains à un tel champ magnétique cependant était terre inconnue. Les équipes de NeuroSpin ont donc dû mener des études et monter un dossier conséquent pour obtenir les autorisations nécessaires de l'Agence Nationale de Sécurité et du Médicament pour conduire des premiers tests in vivo sur l'homme. Ces autorisations ont été obtenues en février 2023 et une vingtaine d'individus adultes sains ont ainsi pu se porter volontaires pour réaliser les premières acquisitions in vivo de juillet 2023 à février 2024 (Nat Methods 21, 2013–2016 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41592-024-02472-7>).

Les résultats montrent l'intérêt de la machine. Grâce à la sensibilité augmentée, nous pouvons désormais explorer le cerveau avec une finesse inégalée. L'aventure ne fait que commencer. Cet exposé présentera l'odyssée du projet Iseult qui aura duré près de 20 ans, des premières idées aux premières images in vivo, et conclura sur les perspectives concernant les maladies neurodégénératives, psychiatriques et les neurosciences.

***« The Odyssey of Iseult project:
from the first ideas to the first in vivo images »***

The Iseult project started from an idea expressed in 2001: to design and manufacture a human brain explorer, i.e. a Magnetic Resonance Imaging (MRI) device with an unrivaled magnetic field intensity of 11.7 Teslas. Despite the power and resources of major manufacturers such as General Electric, Philips and Siemens, no one in the community was able to respond to the call, judging the project utopian while the most powerful human MRI then reached the value of 7 Teslas, was unique in the world and already presented major technological challenges.

The Irfu department of CEA, combining expertise in magnetism, superconductivity, automation, cryogenics, acquired for large physics instruments (particle accelerators), responded with a feasibility study. From there, the Iseult project was born, with funding acquired in 2004, bringing together around 200 people over the years.

Thirteen years of development, testing, prototyping, and construction then passed in Belfort (Alstom factory, now GE) before delivering the 11.7 Tesla magnet, the centerpiece of the MRI, to NeuroSpin at the CEA in Saclay. Siemens then grafted the other organs that together constitute an MRI capable of non-invasively imaging the human brain. Two years were devoted to performing gradient-magnet interaction tests, designed to study the physics of the instrument (vibrations, acoustics, magnetism, and imaging), as a poor understanding and control of the latter could lead to irreversible damage to the machine (quench).

After successfully completing this campaign, and securing the installation, the first pumpkin images were released. Exposing human beings to such a magnetic field, however, was uncharted territory. The NeuroSpin teams therefore had to conduct studies and put together a substantial dossier to obtain the necessary authorizations from the French National Agency for Safety and Medicines to conduct the first in vivo tests on humans. These authorizations were obtained in February 2023 and around twenty healthy adult individuals were thus able to volunteer to carry out the first in vivo acquisitions from July 2023 to February 2024 (Nat Methods 21, 2013–2016 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41592-024-02472-7>).

The results demonstrate the value of the machine. Thanks to the increased sensitivity, we can now explore the brain with unparalleled finesse. The adventure has only just begun. This conference will present the odyssey of the Iseult project, which lasted almost 20 years, from the first ideas to the first in vivo images, and will conclude with perspectives concerning neurodegenerative and psychiatric diseases and neuroscience.

**10
Vendredi
16 Janvier**

Jean-Philippe NOMINÉ

CEA – Département des Sciences de la Simulation et de l'Information

« Sciences et technologies du calcul et de la simulation à la croisée des chemins "HPC" et "IA" »

Après de rapides rappels et une délimitation du domaine que nous voulons aborder – calcul intensif au sens large - nous évoquerons quelques enjeux généraux qu'il recouvre, scientifiquement, socialement, voire géopolitiquement.

Nous en verrons ensuite quelques facettes et tendances au niveau des technologies, des infrastructures et des applications :

- Ingrédients matériels, tension entre les besoins HPC et IA
- Grandes infrastructures publiques et non publiques : aspects énergétiques et environnementaux
- Rapide état des lieux plus spécifique Europe et France – EuroHPC et al.
- La question cruciale des logiciels, du système aux applications via les intergiciels

On pourra terminer en se demandant ce que l'on doit penser du calcul quantique, objet de beaucoup d'annonces mais aussi de projets précis, notamment en Europe et en France !

« Computation and simulation sciences and technologies at the crossroads of "HPC" and "AI" »

After a brief review and definition of the field we wish to address - intensive computing in the broadest sense - we will discuss some of the general issues it covers, scientifically, socially and even geopolitically.

We will then look at some of its facets and trends in terms of technologies, infrastructures and applications:

- Hardware ingredients, tension between HPC and AI needs
- Major public - and non-public - infrastructures: energy and environmental aspects
- A brief review of the situation in Europe and France - EuroHPC et al.
- The crucial question of software, from systems to applications via middleware

Finally, we can ask ourselves what we should think about quantum computing, the subject of many announcements but also of specific and concrete projects, particularly in Europe and France!

11
Vendredi
16 Janvier

Masa KAGEYAMA

*Directrice de recherches au CNRS, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
(LSCE, Gif-sur-Yvette), Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)*

**« Comprendre et prévoir l'évolution passée, récente et future du climat :
quelles données, quels modèles, quels calculateurs
pour répondre aux défis scientifiques et sociétaux ? »**

L'évolution actuelle et future du climat soulève de nombreuses questions de la part de la société. A chaque événement extrême provoquant des dégâts par exemple, se pose la question de son éventuel lien avec le changement climatique en cours. Plus généralement, la demande d'informations climatiques pour adapter nos sociétés aux changements futurs du climat, ainsi que de solutions d'atténuation du changement climatique, impliquent des champs d'application sans cesse élargis et renouvelés pour les modèles de climat.

Aujourd'hui, les modèles de climat utilisés pour délivrer ces informations sont largement basés sur nos connaissances en physique et biogéochimie du système climatique, c'est-à-dire du système couplant atmosphère, océan, cryosphère, surfaces continentales à travers les cycles de l'eau, de l'énergie, de la quantité de mouvement, du carbone et d'autres cycles biogéochimiques. Les ingrédients principaux d'un modèle d'atmosphère par exemple sont les équations de Navier-Stokes pour représenter la dynamique des fluides, les équations représentant le rayonnement et ses interactions avec la surface et les nuages, les équations de conservation, la loi des gaz parfaits.

Il en résulte que les modèles de climat actuels figurent parmi les gros utilisateurs du calcul haute performance. La tentation est grande d'utiliser des ressources en calcul et en stockage de plus en plus importantes, pour améliorer la résolution du modèle, le nombre de processus représentés, pour utiliser les modèles pour des applications toujours plus nombreuses, ou pour calculer un grand nombre de trajectoires et en dériver la quantification des incertitudes sur les résultats.

Lors de ce séminaire, je décrirai le contenu des modèles de climat et ce qui guide actuellement leur évolution future, tant du point de vue technique avec l'arrivée d'une nouvelle génération de supercalculateurs, que du point de vue scientifique et sociétal, avec les objectifs sous-jacents de toujours mieux comprendre les processus à l'œuvre dans les changements climatiques passés, actuels et à venir, mais aussi de pouvoir répondre aux questions de la société au sens large.

J'aborderai également les perspectives liées aux techniques d'Intelligence Artificielle qui pourraient bouleverser le domaine de la modélisation du climat dans la décennie à venir. Ces réflexions sont celles qui ont sous-tendu l'élaboration du Programme de Recherches TRACCS (TRAnsformer la modélisation du Climat pour les services ClimatiqueS), lancé en 2023 pour dix ans.

« Understand and predict the past, current and future evolution of climate: which data, which models, which processors to meet these scientific and societal challenges? »

The current and future evolution of climate raises many questions from society. With each extreme event causing damage, for example, the question arises of its possible link with ongoing climate change. More generally, the demand for climate information to adapt our societies to future climate changes, as well as for solutions to mitigate climate change, imply constantly expanding and renewed fields of application for climate models.

Today, the climate models used to deliver this information are largely based on our knowledge of physics and biogeochemistry of the climate system, that is to say the system coupling atmosphere, ocean, cryosphere, continental surfaces through the cycles of water, energy, momentum, carbon and other biogeochemical cycles. The main ingredients of an atmosphere model for example are Navier-Stokes equations to represent fluid dynamics, the equations representing radiation and its interactions with the surface and clouds, the conservation equations, and the ideal gas law.

As a result, current climate models are among the major users of high-performance computing. The temptation is great to use increasingly large computing and storage resources, in order to improve the resolution of the model and the number of processes represented, in order to use the models for ever more numerous applications, or in order to calculate a large number of trajectories and derive the quantification of uncertainties in the results.

During this conference, I will describe the content of climate models and what is currently guiding their future evolution, both from a technical point of view with the arrival of a new generation of supercomputers, and from a scientific and societal point of view, with the underlying objectives of always better understanding the processes at work in past, current and future climate change, but also of being able to answer the questions of society in the broad sense.

I will also discuss the prospects linked to Artificial Intelligence techniques which could revolutionize the field of climate modeling in the coming decade. These reflections are those which underpinned the development of the TRACCS Research Program (TRAnsforming Climate modeling for Climate Services), launched in 2023 for ten years.

12
Vendredi
16 Janvier

GRANGIER Philippe

*Directeur de recherche émérite au CNRS
Laboratoire Charles Fabry/Institut d'Optique Graduate School
Université Paris-Saclay, 2 avenue Augustin Fresnel, 91403 Palaiseau*

« Communications sécurisées avec des variables quantiques continues »

Comme on le sait depuis Planck et Einstein au début du 20^e siècle, la lumière doit être décrite par la physique quantique, et elle possède des propriétés à la fois discrètes et continues. Nous résumerons d'abord notre description actuelle de ces propriétés de la lumière, et présenterons un outil intéressant pour les représenter intuitivement, la fonction de Wigner.

Une application bien connue de la lumière quantique est la distribution quantique de clés secrètes (QKD), ou cryptographie quantique, qui s'est beaucoup développée ces dernières années. Cependant, la QKD reste une technologie techniquement exigeante et coûteuse, et plusieurs directions sont actuellement explorées pour résoudre ces difficultés. Nous présenterons en détail l'une d'entre elles, la cryptographie quantique à variables continues (CVQKD), qui est beaucoup plus proche des techniques de télécommunication optique standard que la QKD à variables discrètes (DV). En particulier, la CVQKD n'utilise pas de compteurs de photons, mais des détecteurs cohérents (homodynes ou hétérodynes), qui sont désormais très courants dans les systèmes de télécommunications commerciaux à haut débit.

Finalement, nous présenterons quelques tentatives actuelles de mise en place de réseaux quantiques, qui visent à surmonter les pertes de canaux de transmission, notamment par des nœuds de confiance, des satellites ou des répéteurs quantiques. Dans une perspective à plus long terme, nous discuterons également la possibilité de réaliser des interactions déterministes entre photons individuels.

« Secure communications with quantum continuous variables »

As it has been known since the beginning of the 20th century, light must be described by quantum physics, and it has both discrete and continuous properties. We will first summarize our current description of these properties, and introduce a nice tool for representing them intuitively, that is the Wigner function.

A well-known application of quantum light is quantum key distribution (QKD), which has been developing quite a lot in the recent years. However, QKD remains a technically demanding and costly technology, and various directions are currently explored to improve on this issue. In particular, we will present in details one of them, continuous variable (CV) QKD, which is much closer to standard optical telecommunication techniques than discrete variable (DV) QKD. In particular, CVQKD does not use photon counters, but coherent (homodyne or heterodyne) detections, which are now very usual in high-speed commercial telecom systems.

In a last part we will present current attempts towards quantum networks, which aim at overcoming channel losses by various ways including trusted nodes, satellites, or quantum repeaters. As a look to the future, we will also discuss the possibility to achieve deterministic photon-photon interactions.

13
Vendredi
16 Janvier

Tran N'GUYEN

Membre de l'AEIS

Pr Faculté de Médecine-Université de Lorraine

Directeur de l'Ecole de Chirurgie Nancy-Lorraine - Hôpital Virtuel de Lorraine

Membre du conseil national du numérique

***« Contribution relative du Métavers et de la Réalité virtuelle en Formation
médico-chirurgicale de haut niveau »***

Dans cette intervention, nous examinerons la contribution significative du métavers et de la réalité virtuelle à la formation de haut niveau des professionnels de santé. Le métavers, cet ensemble d'espaces virtuels interconnectés et habités en temps réel par des entités numériques, est une avancée technologique remarquable. Couplé à la réalité virtuelle immersive, il révolutionne la formation médicale et chirurgicale, offrant des possibilités sans précédent. Les professionnels de santé peuvent maintenant s'entraîner à réaliser des procédures complexes dans un environnement sûr et contrôlé, loin du stress et des risques de l'environnement clinique réel. Avec des feedbacks instantanés sur leurs actions, ils ont la possibilité de répéter les procédures jusqu'à leur maîtrise parfaite. Ces simulations améliorées contribuent à l'apprentissage par la pratique et à l'acquisition d'une expertise précise et efficace. De plus, le métavers transcende les limites géographiques, facilitant la collaboration à distance entre professionnels de santé, offrant la possibilité de consultations d'expertise et de formation continue sans contraintes de distance. Ces technologies sont ainsi devenues des outils essentiels dans la transformation de la formation de haut niveau en santé, remodelant notre approche de l'éducation médicale et la rendant plus accessible, flexible et efficace.

***« Relative Contribution of the Metaverse and Virtual Reality to High-Level
Medical-Surgical Training »***

In this intervention, we will delve into the significant contribution of the metaverse and virtual reality to the high-level training of health professionals. The metaverse, an interconnected collection of virtual spaces inhabited in real-time by digital entities, is a remarkable technological advancement. Combined with immersive virtual reality, it is revolutionizing medical and surgical training, offering unprecedented opportunities. Health professionals can now practice performing complex procedures in a safe and controlled environment, away from the stress and risks of the real clinical environment. With instant feedback on their actions, they have the ability to repeat procedures until they are perfectly mastered. These enhanced simulations contribute to hands-on learning and the acquisition of precise, efficient expertise. Furthermore, the metaverse transcends geographical boundaries, facilitating remote collaboration between health professionals, offering the possibility of expert consultations and continuing education without distance constraints. These technologies have thus become essential tools in the transformation of high-level health training, reshaping our approach to medical education, and making it more accessible, flexible, and effective.

14
Vendredi
16 Janvier

Vincent BONTEMS

*Directeur de recherche au Laboratoire de recherche sur les sciences de la matière (Larsim),
CEA-Saclay*

« Sur les frontières de la science »

Dans les années 2000, l'émergence du terme « nano » a catalysé une promotion significative de l'interdisciplinarité. En 2011, le sociologue Terry Shinn a proposé une analyse de la « nouvelle disciplinarité » : les chercheurs occupant des positions centrales dans leur domaine adoptaient une stratégie consistant à explorer les frontières disciplinaires pour établir des alliances, puis revenaient au centre pour capitaliser sur ces collaborations.

Des études bibliométriques (Gingras & Larivière 2014) ont mis en lumière une tendance marquée à la baisse des citations intra-disciplinaires. Que demeure alors le rôle de la discipline dans la formation des chercheurs ? La métaphore spatiale du centre et de la périphérie reste-t-elle pertinente ? Comment les dispositifs de contrôle peuvent-ils s'exercer sur ces travaux ?

Pour éclairer ces questions, nous nous appuyerons sur les concepts de « diversité » (Bontems, "Au nom de l'innovation : finalités et modalités de la recherche au XXI^e siècle", 2023) et de « frontières fractales » (Hatchuel & Bontems, « Sur le régime de création surcontemporain », 2020) en soulignant la vulnérabilité actuelle de la science face à la prolifération de la « fake science » à l'ère de l'Intelligence Artificielle.

« About the boundaries of science »

In the years 2000, the emergence of the term « nano » catalyzed a considerable promotion of interdisciplinarity. In 2011, sociologist Terry Shinn proposed an analysis of the « new disciplinarity »: researchers in central positions within their domain were adopting a strategy consisting in exploring the disciplinary boundaries to establish alliances, then coming back to their central position in order to capitalize on these collaborations.

Bibliometric studies (Gingras & Larivière 2014) shed light on a marked tendency to the decrease of intra-disciplinary citations. What is then left of the role played by disciplines in the training of researchers? Is the spatial center-periphery metaphor still relevant? How can control measures be applied on research?

In view of shedding some light on these questions, we will use the concepts of "diversality" (Bontems, « Au nom de l'innovation : finalités et modalités de la recherche au XXI^e siècle », 2023) and of "fractal boundaries" (Hatchuel & Bontems, « Sur le régime de création surcontemporain », 2020) and underline the current vulnerability of science facing the proliferation of "fake science" in the era of Artificial Intelligence.

15
Vendredi
16 Janvier

Gilles COHEN-TANNOUDJI (AEIS)

ex-Conseiller scientifique

Laboratoire de recherche sur les sciences de la matière (Larsim), CEA-Saclay

Membre de l'AEIS

« Particules élémentaires et cosmologie : modèles standards, simulations numériques et intelligence artificielle »

En moins d'un siècle, la physique des particules et des interactions non-gravitationnelles, basée sur la théorie quantique des champs d'une part, et la cosmologie, la physique de l'univers dans son ensemble incluant la prise en compte de la gravitation, basée sur la relativité générale d'autre part, se sont chacune, dotées d'un **modèle standard** i.e. une modélisation phénoménologique en accord avec les données de l'expérience ou de l'observation, qui ne pourra être dépassée que par une nouvelle modélisation au moins aussi satisfaisante.

L'enjeu de la mise en concordance de ces deux modèles standards dans le cadre d'une nouvelle discipline, la cosmogonie, physique de l'origine temporelle de l'univers, nécessite la mise en œuvre d'une nouvelle discipline instrumentale, la **simulation numérique**, que nous proposons d'identifier à l'**intelligence artificielle**. L'essentiel de l'exposé consistera à tenter de justifier une telle identification.

« Elementary particles and cosmology: standard models, numerical simulations and artificial intelligence »

In less than a century, particle physics and non-gravitational interactions, based on quantum field theory on the one hand, and cosmology, the physics of the universe as a whole including the consideration of gravitation, based on general relativity on the other hand, have each been equipped with a **standard model**, i.e. a phenomenological model in agreement with the data of experience or observation, which can only be surpassed by a new model at least as satisfactory.

The challenge of bringing these two standard models into line within the framework of a new discipline, cosmogony, the physics of the temporal origin of the universe, requires the implementation of a new instrumental discipline, **numerical simulation**, which we propose to identify with **artificial intelligence**. The main part of the presentation will consist of trying to justify such an identification.

16
Vendredi
16 Janvier

Michel SPIRO (AEIS)

*Président de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée
Président du Comité d'organisation de l'Année Internationale des Sciences Fondamentales
pour un Développement Durable (2022-2023)
Président du Conseil de la Fondation CERN & Société
Ancien Directeur de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules,
IN2P3/CNRS
Directeur de Recherche CEA
Membre de l'AEIS*

**« De l'année internationale des sciences fondamentales pour un
développement durable (2022-2023) à la décennie internationale des sciences
pour un développement durable (2024-2033) »**

Dans cet exposé, je montrerai les ambitions de ces deux initiatives, l'une passée, l'année internationale des sciences fondamentales pour un développement durable (2022-2023), qui a promu les sciences basées sur la curiosité, sources de connaissances et de découvertes dans lesquelles les générations suivantes peuvent puiser pour faire face à leurs défis, l'autre en cours, la décennie internationale des sciences pour un développement durable (2024-2033), qui vise à associer science et citoyens (*toutes les sciences, toutes les connaissances, y compris traditionnelles*) pour transformer (avoir un impact) à toutes les échelles (villages, régional, pays, groupes de pays, mondial) sur notre manière d'agir pour un bien être équitable sur une planète saine. Il s'agit donc bien là d'établir une science citoyenne, participative, coconstruite, transdisciplinaire, avec en vue des impacts à toutes les échelles.

Cette science citoyenne doit être collaborative, inspirée par le modèle du CERN avec pour but d'établir un réseau mondial des laboratoires transdisciplinaires pour un développement durable, comme le CERN avait établi un réseau international (à toutes les échelles) des laboratoires pour la découverte, puis l'étude du boson de Higgs (Worldwide LHC Grid).

Nous avons commencé à mettre en place ce réseau avec la "Earth-Humanity Coalition", que je décrirai.

**« From the international year of basic sciences for sustainable development
(2022-2023) to the international decade of sciences for sustainable
development (2024-2033) »**

In this lecture, I will show the goals/ambitions of these two initiatives, the first one (2022-2023), the International Year of Basic Sciences for Sustainable Development which promoted curiosity driven sciences which feed the pool of knowledge that subsequent generations will use to face their problems, the second one (2024-2033), the International Decade of Sciences for a Sustainable Development, which promotes participative citizen sciences, co-constructed (*all sciences, all knowledge, including traditional*) which are transformative and impact oriented at all scales (villages, group of villages, regions, countries, group of countries, global), with in mind, impact at all scales on our way to act for equitable well-being on a healthy planet.

This citizen science must be collaborative, inspired by the CERN model, with the goal of establishing a worldwide network of transdisciplinary hubs for sustainable development, like CERN did in establishing a worldwide network (at all scales) of laboratories for the Higgs boson discovery and study (the Worldwide LHC Grid).

We started to set-up this network with the Earth-Humanity Coalition, that I will describe.