

Académie des sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon
Palais Saint-Jean – 4, avenue Adolphe Max 69005 Lyon

Compte rendu de la séance académique du

mardi 12 décembre 2023

Alfonso SAN MIGUEL

« Un monde sous pression... même à l'échelle atomique »

La présidente Isabelle Collon, ouvre la séance à 14 h 30. Elle présente les excuses de nos consoeurs et confrères : Jean Agnès, Jean-Claude Decourt, Nicole Dockès, Christian Dumas, Jacques Fayette, Nathalie Fournier, Jean-Marie Lafont, Philippe Lebreton, Philippe Mikaeloff, Claude Prudhomme, Marguerite Yon.

La présidente donne ensuite quelques informations sur les activités à venir :

- **Ce jour à 16 h 15** : réunion du Bureau.
- **Jeudi 4 janvier 2024** : visite au Musée des moulages Le nombre de participants est limité à 25.
- **Lundi 22 janvier 2024 à 11 h 00** : visite de l'exposition « Les formes de la ruine » au Musée des Beaux Arts. Le nombre de participants est limité à 25.

La parole est donnée à Laurent Thirouin, secrétaire général adjoint de la classe des lettres, pour la lecture du compte rendu (rédigé par Nathalie Fournier) de la séance du 5 novembre 2023 consacrée pour l'essentiel à la conférence : « Le Poème de l'Âme de Louis Janmot : nouvelles perspectives » par Stéphane Paccoud.

La présidente présente ensuite le conférencier du jour : Alfonso San Miguel qui possède la double nationalité française et espagnole ; il est professeur de physique à l'Université Claude Bernard Lyon1 et qui a un CV si impressionnant que la présidente renonce à le résumer. Le Professeur San Miguel est un spécialiste des pressions extrêmes et des structures cristallines, ce qui justifie le choix du titre de sa conférence :

« Un monde sous pression... même à l'échelle atomique »

Alfonso San Miguel nous fait d'emblée remarquer que, dans notre vie quotidienne, nous n'avons pas conscience des pressions physiques auxquelles nous sommes soumis. Ainsi, nous sommes confrontés à la pression atmosphérique qui exerce un poids de 100 kg sur nos têtes. Nous mesurons en permanence des pressions (pression atmosphérique, pression artérielle, pression de nos pneumatiques, etc...). Ces pressions sont l'objet d'études depuis des millénaires (Aristote, Archimède, Pascal, Toricelli et, plus près de nous, Mariotte, Gay-Lussac, Pravaz, Amagat).

Dans l'univers, l'échelle des pressions est considérable allant de 10^{-30} à 10^{30} GPa (1 GPa = 10 000 atmosphères). Dans notre environnement immédiat (sur terre) les pressions se situent dans une zone comprise seulement entre 10^{-5} à 10^2 GPa.

Dès le 19^e siècle, l'homme a essayé de reproduire des pressions de plus en plus élevées avec des colonnes de mercure de plus en plus hautes placées dans des tours ou dans des puits de mine, permettant d'obtenir des pressions de l'ordre de 300 à 400 atmosphères. Plus récemment, avec l'utilisation de cellules à enclumes de diamant, on arrive à exercer des pressions de plus de 500 GPa. L'application de telles pressions sur différents matériaux ou substances modifie la structure de la matière qu'on peut mettre en évidence en observant les variations de la diffraction des rayons X à travers ces matériaux soumis à ces pressions. On utilise pour cela des rayonnements de haute énergie délivrés par des synchrotrons.

La connaissance des effets des hautes pressions donne lieu à de nombreuses applications, et on est surpris de découvrir que des pressions extraordinaires sont présentes dans des objets aussi communs que nos téléphones portables ! Enfin, ce domaine d'études a permis de mieux comprendre les propriétés supraconductrices de différents matériaux, notamment de l'hydrogène lorsqu'il est l'objet d'une métallisation.

De la même façon on comprend mieux l'organisation des atomes dans les nanotubes de carbone qui sont des structures ayant des propriétés mécaniques exceptionnelles.

Bien que les progrès aient été considérables, il reste encore beaucoup à faire pour percer les secrets de la matière soumise à des pressions énormes dans tout notre univers.

La présidente Isabelle Collon remercie le conférencier pour sa brillante conférence ; elle lui présente aussi ses excuses pour avoir omis de signaler qu'il avait été élu membre correspondant de notre Académie la semaine précédente.

Discussion académique :

Question de notre confrère Joseph Remillieux :

Le flambage des nanotubes est-il un phénomène quantique ?

Réponse : à l'échelle d'un nanotube de carbone, l'origine quantique est inévitable car elle concerne l'élasticité des liaisons interatomiques. Cette élasticité découle des potentiels interatomiques qui ont, a minima, une composante répulsive due au principe d'exclusion de Pauli. Ainsi, tout comportement mécanique des nanotubes de carbone a une origine quantique. Les potentiels d'interactions ont une analogie classique : dans leur approximation harmonique, ils correspondent à des réseaux de ressorts classiques. Le flambage des nanotubes implique, pour les grands diamètres, des interactions de van der Waals, résultant de fluctuations quantiques dans la distribution des électrons. Pour les petits diamètres, la pression de flambage radial est dominée par des phénomènes de discrétisation, qui ne sont pas spécifiquement quantiques. Cependant, les potentiels en jeu restent de nature quantique.

Question de notre confrère Laurent Thirouin :

Dans la recherche des matériaux supraconducteurs, pourquoi pratiquer des situations de pressions extrêmes plutôt que de températures extrêmes ? Les premières sont-elles plus faciles à obtenir que les secondes ?

Réponse : les pressions extrêmes révèlent la supraconductivité dans de nouvelles familles de matériaux. Une supraconductivité induite par la pression peut être difficile à exploiter, sauf dans certains dispositifs électroniques où il est possible de créer des champs de contraintes mécaniques avoisinant 1 GPa. Actuellement, les nouveaux hydrures supraconducteurs ne sont observables qu'à de très hautes pressions ($p > 100$ GPa) et perdent leur caractère supraconducteur à basse pression. Par conséquent, les basses températures demeurent actuellement le seul moyen pratique d'exploiter la supraconductivité.

Question de Monsieur Albert Ferrat (Musée Ampère) : au rugby, dans une mêlée fermée, les joueurs de chaque côté exercent le maximum de poussée, mais la pression résultante est-elle supérieure à la somme des poussées individuelles et ce n'est pas forcément le côté le plus lourd qui l'emporte ?

Réponse : *il semble que vous vouliez dire que la résultante est inférieure, conformément aux études sur ce sujet. Effectivement, lors d'une mêlée, la poussée individuelle n'est pas parfaitement transmise à l'avant, en raison de diverses dissipations. Comme vous le soulignez, le poids du pack n'est pas le seul facteur décisif. La distribution temporelle de l'effort et la synchronisation sont également cruciales. Par exemple, il peut être plus efficace de maintenir une certaine désynchronisation entre les joueurs plutôt qu'une poussée synchronisée et saccadée qui pourrait être plus facilement repoussée lors des phases de récupération. La technique gagnante est ainsi moins évidente qu'elle ne paraît et peut aussi devoir s'adapter à la stratégie de l'équipe adverse.*

Question de notre confrère Georges Boulon : quel est le rôle particulier des clathrates dans le processus de supraconductivité ?

Réponse : *les clathrates présentent un réseau cubique très rigide, avec une énergie liée aux phonons importante, favorisant un couplage électron-phonon élevé, élément fondamental de la supraconductivité. Nous avons démontré, notamment pour les clathrates de silicium, que la supraconductivité est extrêmement stable même en présence de défauts structuraux. Cette résilience supraconductrice pourrait s'expliquer par la haute symétrie de ces structures, similaires à des nano-cages sphériques, souvent utilisées comme modèles cristallins pour les systèmes amorphes.*

Question de notre confrère Michel Lagarde :

La « métallisation » de l'hydrogène à très haute pression est-elle identique pour les isotopes de l'hydrogène, notamment le tritium ? Si non, cela change-t-il la durée de vie de cet isotope radioactif ?

Réponse : *nous n'avons pas de résultats concernant le tritium. Pour le deutérium, il n'y a pas de différence significative par rapport à l'hydrogène, à part un léger décalage des lignes de transition dans les diagrammes de phase.*

Question de Monsieur Jean-Noël Larguet :

Comment fonctionnait l'appareil d'Amagat pour obtenir une pression de 3 000 atmosphères ?

Réponse : *le piézomètre d'Amagat, une amélioration du manomètre de Gally-Cazalat, fonctionnait en deux étapes de compression. La première étape se faisait par injection d'eau via une pompe externe. Ensuite, un système hydraulique multipliait la pression. Au centre, le liquide élevait une colonne de mercure, interagissant avec des contacts électriques en platine pour la mesure. Certains détails du fonctionnement restent toutefois peu clairs à mes yeux.*

Question de Monsieur Jean Michel Grange :

L'expansion des gaz utilisés en chirurgie du décollement de la rétine est-elle intéressante dans vos recherches ?

Réponse : *c'est un sujet que je ne connais pas bien, et ces gaz n'ont pas été étudiés dans le cadre de mes recherches.*

Question de notre confrère Guy Chanfray :

Comprend-on théoriquement l'évolution de la structure des molécules diatomiques sous pressions extrêmes, menant à la métallisation ? Quel est le comportement quantique des électrons, voire du gaz d'électrons ?

Réponse : *l'évolution est fortement quantique dans le cas de l'hydrogène, où les effets d'énergie de point-zéro sont particulièrement importants, notamment pour le calcul de l'énergie de cohésion et*

les diagrammes de phase. Les différences entre les diagrammes de phase de l'hydrogène et du deutérium s'expliquent principalement par ces effets. Pour d'autres molécules diatomiques, les potentiels interatomiques sont quantiques et leur description doit se faire via des fonctions de Bloch, solutions de l'équation de Schrödinger dans un potentiel périodique.

Question de notre confrère Paul Perrin :

Quelle est la relation entre pression artérielle et tension artérielle ?

Réponse :

Personnellement, je ne fais pas de distinction entre les deux termes. On mesure des pressions hydrostatiques en mmHg. La différence entre les valeurs maximale et minimale de la pression pourrait éventuellement être considérée comme une tension.

Question de notre confrère Robert Boivin :

Lors des expériences anciennes pour obtenir une pression élevée avec des tubes de grande hauteur, les pressions de la colonne de mercure ne risquaient-elles pas de provoquer l'éclatement de ces tubes ?

Réponse :

Effectivement, surtout que pour mesurer cette pression, il fallait des sections transparentes en verre qui ne résistaient pas à des pressions dépassant 400 atmosphères.

Après avoir de nouveau remercié notre conférencier Alfonso San Miguel pour sa très belle conférence, la présidente Isabelle Collon clôt la séance à 16 h 00.

Robert BOIVIN

Secrétaire général adjoint de la classe des sciences.