



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Comptes Rendus

Physique

Jean-Louis Barrat and Daniel R. Neuville

From everyday glass to disordered solids: Foreword


Volume 24, Special Issue S1 (2023), p. 5-8

Online since: 23 January 2024

Part of Special Issue: From everyday glass to disordered solids

Guest editors: Jean-Louis Barrat (Université Grenoble-Alpes, France) and Daniel Neuville (Université de Paris, Institut de physique du globe de Paris, CNRS, France)

<https://doi.org/10.5802/crphys.165>

 This article is licensed under the
CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE.
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*The Comptes Rendus. Physique are a member of the
Mersenne Center for open scientific publishing*
www.centre-mersenne.org — e-ISSN : 1878-1535



From everyday glass to disordered solids / *Du verre quotidien aux solides désordonnés*

From everyday glass to disordered solids: Foreword

*Du verre quotidien aux solides désordonnés :
Avant-propos*

Jean-Louis Barrat^{✉, a} and Daniel R. Neuville^{✉, *, b}

^a Université Grenoble-Alpes, Grenoble, France

^b Université de Paris, Institut de physique du globe de Paris, CNRS, Paris, France

E-mail: neuville@ipgp.fr (D. Neuville)

Manuscript received and accepted 13 November 2023.

La version française suit la version anglaise

On May 18, 2021, the United Nations General Assembly declared 2022 the International Year of Glass, highlighting the role of glass in scientific, economic, artistic and cultural fields. Glass is essential to many vital technologies, facilitates the transition to a more sustainable world and beautifies our lives. Everyone is familiar with the everyday life glass that has accompanied mankind for over 10,000 years, such as the first cut obsidian, or more recently, the first Roman glass blown over 2000 years ago. For the man on the street, glass is present in tableware, bottles for perfumery, cosmetics and pharmaceuticals, cookware, food packaging, flat glass for windows, mirrors and solar panels, as well as glass wool, fiberglass, glass for optics and photonics, and others special glass. Glass can be recycled ad infinitum, and there is ample evidence that it was recycled as far back as Roman times. Tomorrow's glass will make it possible to rebuild the human body using bioglass [1], and to store energy in new batteries with almost infinite capacities [2].

In a recent issue of CR Géosciences, a series of articles showed that it is possible to obtain a glass with all types of atoms and chemical bonds [3]. But the question remains, "What is glass?"

As early as the 1920s, some physicists proposed that glass could be the fourth state of matter [4]. Glass would be neither liquid nor solid, but would share certain properties of both, in a fixed disorder that could be relaxed. In the 50s and 60s, numerous theories emerged, ranging

* Corresponding author.

from rigid sphere theories [5, 6], to free volumes [7, 8], or as Adam and Gibbs [9] proposed on the idea that matter transport in a viscous liquid requires a cooperative change in the liquid's configuration. From the early 1980's, more rigorous statistical physics approaches were applied to spin glasses (disordered magnets) and glasses, and together with sophisticated experimental tools have greatly improved our current understanding of the glassy state of matter.

In this special issue of CR Physique, 11 articles will attempt to discuss these fundamental efforts to understand the glassy state, which were honored in 2021 by the award of the Nobel Prize in Physics to Giorgio Parisi, who showed "how disorder and fluctuations interact from atomic to planetary scales" [10]. The first two articles deal with glass and the concept of glass transition [11, 12]. The third article shows how to understand the glass transition through numerical simulations [13]. After defining a certain disorder in glass, Tanguy's article [14] makes the link between structure and its vibrations and the thermal capacities of glasses, which show major differences from those of crystals. Articles by Rouxel and Tyukodi *et al.* [15, 16] point out the mechanical properties of glass, which are very different from those of crystals and liquids. Micoulaut's article [17] shows that there are several levels of order or disorder in a glass. The next two articles focus on a new glass family with remarkable mechanical properties: metallic glasses (Champion, Cornet and Ruta [18, 19]). As we have already mentioned, it is possible to obtain glasses with all atoms and all chemical bonds, especially the weak bonds that enabled Angell to introduce the concept of strong and fragile liquids [20]; the article by Alba-Simionesco [21] focuses on organic glasses, while the article by Cormier *et al.* [22] shows us that the glasses we use every day are not as homogeneous as we had hoped, and that they exhibit nanoscale heterogeneities that can play an important role in macroscopic properties [23, 24].

Version française

Le 18 mai 2021, l'Assemblée générale des Nations unies a déclaré 2022 Année internationale du verre, soulignant le rôle du verre dans les domaines scientifique, économique, artistique et culturel. Le verre est essentiel à de nombreuses technologies vitales, facilite la transition vers un monde plus durable et embellit notre vie.

Tout le monde connaît le verre de la vie quotidienne qui accompagne l'humanité depuis plus de 10 000 ans, comme la première obsidienne taillée ou, plus récemment, le premier verre romain soufflé il y a plus de 2000 ans. Pour l'homme de la rue, le verre est présent dans la vaisselle, les flacons pour la parfumerie, les cosmétiques et les produits pharmaceutiques, les ustensiles de cuisine, les emballages alimentaires, le verre plat pour les fenêtres, les miroirs et les panneaux solaires, ainsi que la laine de verre, la fibre de verre, le verre pour l'optique et la photonique, et d'autres verres spéciaux. Le verre peut être recyclé à l'infini, et il existe de nombreuses preuves qu'il était déjà recyclé à l'époque romaine. Le verre de demain permettra de reconstruire le corps humain avec des bioverres [1], et de stocker l'énergie dans de nouvelles batteries aux capacités quasi infinies [2].

Dans un récent numéro de CR Géosciences, une série d'articles a montré qu'il est possible d'obtenir un verre avec tous les types d'atomes et de liaisons chimiques [3]. Mais la question demeure : "Qu'est-ce que le verre?"

Dès les années 1920, certains physiciens ont proposé que le verre puisse être le quatrième état de la matière [4]. Le verre ne serait ni liquide ni solide, mais partagerait certaines propriétés des deux, dans un désordre fixe qui peut se relaxer. Dans les années 50 et 60, de nombreuses théories ont vu le jour, allant des théories des sphères rigides [5, 6] à celle des volumes libres [7, 8], ou comme l'ont proposé Adam et Gibbs [9] sur l'idée que le transport de matière dans un liquide visqueux nécessite un changement coopératif de la configuration du liquide. Depuis le début des années 1980, des approches de physique statistique plus rigoureuses ont été appliquées aux

verres de spin (aimants désordonnés) et aux verres, et, avec des outils expérimentaux sophistiqués, ont considérablement amélioré notre compréhension actuelle de l'état vitreux de la matière.

Dans ce numéro spécial de CR Physique, 11 articles tenteront de discuter de ces efforts fondamentaux pour comprendre l'état vitreux, qui ont été honorés en 2021 par l'attribution du prix Nobel de physique à Giorgio Parisi, qui a montré "comment le désordre et les fluctuations interagissent de l'échelle atomique à l'échelle planétaire" [10]. Les deux premiers articles traitent du verre et du concept de transition vitreuse [11, 12]. Le troisième article montre comment comprendre la transition vitreuse grâce à des simulations numériques [13]. Après avoir défini un certain désordre dans le verre, l'article de Tanguy [14] fait le lien entre la structure et ses vibrations et les capacités thermiques des verres, qui présentent des différences importantes avec celles des cristaux. Les articles de Rouxel et de Tyukodi *et al.* [15, 16] mettent en évidence les propriétés mécaniques du verre, très différentes de celles des cristaux et des liquides. L'article de Micoulaut [17] montre qu'il existe plusieurs niveaux d'ordre ou de désordre dans un verre. Les deux articles suivants portent sur une nouvelle famille de verre aux propriétés mécaniques remarquables : les verres métalliques (Champion, Cornet et Ruta [18, 19]). Comme nous l'avons déjà mentionné, il est possible d'obtenir des verres avec tous les atomes et toutes les liaisons chimiques, notamment les liaisons faibles qui ont permis à Angell d'introduire le concept de liquides forts et fragiles [20]; l'article d'Alba-Simionescu [21] se focalise sur les verres organiques, tandis que l'article de Cormier *et al.* [22] nous montre que les verres que nous utilisons tous les jours ne sont pas aussi homogènes que nous l'espérons, et qu'ils présentent des hétérogénéités à l'échelle nanométrique qui peuvent jouer un rôle important dans les propriétés macroscopiques [23, 24].

References / Références

- [1] D. S. Brauer, L. Hupa, "Glass as a biomaterial : strategies for optimising bioactive glasses for clinical applications", *C. R. Géosci.* **354** (2022), no. S1, p. 185-197.
- [2] M. H. Braga, C. M. Subramaniam, A. J. Murchison, B. John, J. B. Goodenough, "Nontraditional, safe, high voltage rechargeable cells of long cycle life", *J. Am. Chem. Soc.* **140** (2018), p. 6343-6352.
- [3] D. R. Neuville, "Glass, an ubiquitous material", *C. R. Géosci.* **354** (2022), p. 1-14.
- [4] G. S. Parks, H. M. Huffman, "Glass as a fourth state of matter", *Science* **64** (1926), p. 363-364.
- [5] S. N. Gladstone, K. Laidler, H. Eyring, *The Theory of Rate Processes*, McGraw-Hill, New-York, 1941.
- [6] H. D. Weymann, "On the hole theory of viscosity, compressibility and expansivity of liquids", *Kolloid-Z. Zeitschrift Polymere* **181** (1962), p. 131-137.
- [7] D. Turnbull, M. H. Cohen, "Free-volume model of the amorphous phase : glass transition", *J. Phys. Chem.* **34** (1961), p. 120-125.
- [8] D. Turnbull, M. H. Cohen, "On the free-volume model of the liquid-glass transition : glass transition", *J. Phys. Chem.* **52** (1970), p. 3038-3041.
- [9] G. Adam, J. H. Gibbs, "On the temperature dependence of cooperative relaxation properties in glass-forming liquids", *J. Chem. Phys.* **43** (1965), p. 139-154.
- [10] G. Parisi, "Nobel Lecture : Multiple equilibria", *preprint*, arXiv:2304.00580, 2022.
- [11] G. Biroli, J. P. Bouchaud, "The RFOT Theory of Glasses : Recent Progress and Open Issues", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 9-23.
- [12] O. Dauchot, F. Ladieu, C. Patrick Royall, "The glass transition in molecules, colloids and grains : universality and specificity", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 25-56.
- [13] J. L. Barrat, L. Berthier, "Computer simulations of the glass transition and glassy materials", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 57-72.
- [14] A. Tanguy, "Vibrations and heat transfer in glasses : the role played by Disorder", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 73-97.
- [15] T. Rouxel, "Some strange things about the mechanical properties of glass", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 99-112.
- [16] B. Tyukodi, A. Barbot, R. Garcia-Garcia, M. Lerbinger, S. Patinet, D. Vandembroucq, "Coarse-graining amorphous plasticity : impact of rejuvenation and disorder", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 113-131.
- [17] M. Micoulaut, "Topological ordering during flexible to rigid transitions in disordered networks", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 133-154.

- [18] Y. Champion, "Entropy of metallic glasses and the size effect on glass transition", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 155-164.
- [19] A. Cornet, B. Ruta, "New pathways to control the evolution of the atomic motion in metallic glasses", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 165-175.
- [20] A. Angell, "Relaxation in liquids, polymers and plastic crystals - strong/fragile patterns and problems", *J. Non-Cryst. Solids* **131-133** (1991), p. 13-31.
- [21] C. Alba-Simionesco, "Organic glass-forming liquids and the concept of fragility", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 177-198.
- [22] L. Cormier, L. Galois, G. Lelong, G. Calas, "From nanoscale heterogeneities to nanolites : cation clustering in glasses", *C. R. Phys.* **24** (2023), no. S1, p. 199-214.
- [23] C. Le Losq, D. R. Neuville, P. Florian, D. Massiot, Z. Zhou, W. Chen, N. Greaves, "Percolation channels : a universal idea to describe the atomic structure of glasses and melts", *Sci. Rep.* **7** (2017), article no. 16490.
- [24] D. Di Genova, R. A. Brooker, H. M. Mader, J. W. E. Drewitt, A. Longo, J. Deubener, D. R. Neuville, S. Fanara, O. Shebanova, S. Anzellini, F. Arzilli, E. C. Bamber, L. Hennem, G. La Spina, N. Miyajima, "In situ observation of nanolite growth in volcanic melt : a driving force for explosive eruptions", *Sci. Adv.* **6** (2020), no. 39, article no. eabb0413.