



Le GDR-Verres et l'USTV : des réseaux pour la réflexion scientifique sur des problématiques verrières académiques et industrielles

Par Wilfried Blanc¹, François Méar², Lionel Montagne², Daniel Neuville³

La communauté scientifique et industrielle du verre est extraordinairement riche en France. Des équipes scientifiques avec une renommée internationale et une R&D verrière industrielle française, très dynamique, ayant besoin d'échanges sur des domaines d'expertise. Le réseau animé par le GDR-Verres et l'USTV crée un lien entre les équipes de recherche fondamentale, celles plus appliquée ou technologiques, et le monde industriel.

La communauté scientifique et industrielle du verre est extraordinairement riche en France, mais c'est à la fois une force et une faiblesse. Une force dans la mesure où toutes les disciplines sont représentées au sein d'équipes dont beaucoup disposent d'une reconnaissance internationale. Ceci constitue un vivier de compétences très riche, source de collaborations fructueuses entre partenaires académiques et industriels. Mais c'est aussi une faiblesse car ces forces sont dispersées au sein de nombreuses équipes, généralement de taille moyenne, et réparties sur l'ensemble du territoire français. C'est aussi un handicap certain pour la visibilité internationale de la recherche verrière française, qui se positionne pourtant parmi les meilleures. Plus spécifiquement, la R&D verrière industrielle française, très dynamique, a besoin d'échanges sur des domaines d'expertise dont elle ne dispose pas toujours. Ce constat est à l'origine de l'existence de deux réseaux d'échanges, de réflexion, de formation et de prospective : Le GDR-Verres et l'USTV.

Le GDR-verres (Groupement De Recherche sur les Verres, <http://gdrverres>.)

univ-lille1.fr) est un réseau piloté par le CNRS, dont la première mission est de fédérer cette communauté et lui donner de la visibilité. Le deuxième objectif est de répondre à des questions scientifiques transversales et interdisciplinaires. Le troisième objectif est d'assurer un rôle de formation aussi bien auprès des étudiants que des chercheurs et ingénieurs.

L'USTV (Union pour la Science et la Technologie Verrières, <http://www.ustverre.fr>) est une association (loi 1901) qui a pour objectif d'une part de renforcer les liens entre les acteurs industriels et académiques du verre, et d'autre part de représenter la France dans les instances internationales (ICG (International Commission on Glass) et ESG (European Society on Glass)). Si le GDR, par sa tutelle CNRS, a pour vocation première de représenter les activités à caractère académique et de nature plutôt amont et fondamentale, l'USTV est le relais du monde socio-économique pour proposer et coordonner l'animation scientifique et technologique orientée vers les problématiques industrielles.

Le GDR-Verres et l'USTV organisent régulièrement des manifestations afin

de permettre les échanges au sein de la communauté verrière :

- 】 organisation de journées annuelles sur des thématiques générales et d'ouverture,
- 】 organisation de colloques sur des thématiques spécialisées,
- 】 organisation d'écoles thématiques,
- 】 organisation d'ateliers, journées d'échanges sur des questions précises, avec une organisation légère.

Le GDR-Verres et l'USTV comptent 330 membres, répartis en 60 équipes académiques et industrielles (Saint-Gobain, Corning, Draka Comtech Prysmian Group, Arc International, Baccarat). Les sites internet de ces 2 réseaux regroupent une grande quantité d'information : adresses et composition des équipes, liste des événements, documents des conférences et des cours des écoles thématiques. Une liste de diffusion permet un contact rapide et souple entre les membres, d'échanger des informations, d'annoncer les actions, de relayer des offres d'emplois, thèses, post-doc et stages.

Un certain nombre de thématiques scientifiques sont abordées au sein du réseau animé par les deux entités. Elles sont proposées par ses membres et sélectionnées par un conseil scientifique pour le GDR et un conseil d'administration pour l'USTV, constitués d'experts académiques et industriels.

¹ Université Nice Sophia Antipolis, CNRS, LPMC, UMR 7336, 06100 Nice, France

² Université de Lille, CNRS, UCCS, 59000 Lille

³ Institut de Physique du Globe de Paris, CNRS, 75000 Paris

Parmi les thématiques les plus importantes, on citera les suivantes :

- ▮ structure et propriétés des verres, modélisations ;
- ▮ hétérogénéités, nucléation, croissance ;
- ▮ efficacité énergétique, verres à haute température ;
- ▮ l'état fondu : mesurer et comprendre les liens entre propriétés et structure ;
- ▮ propriétés avancées : de la caractérisation aux applications. Ces dernières couvrent des domaines aussi variés que les vitrocéramiques, le stockage pérenne d'information, les verres de scellement... ;
- ▮ REACH : une problématique sociétale, enjeux et stratégie pour la conception et l'élaboration de nouveaux verres, du laboratoire à l'industrie.

Dans la suite de cet article, nous donnons quelques détails sur les problématiques abordées dans le cadre de ces différentes thématiques.

Structure et propriétés des verres, modélisations

Les concertations entre les participants ont fait apparaître le besoin de mieux appréhender les potentialités offertes aux problématiques de recherche verrière par les développements récents d'outils ou de méthodes numériques. Cela a conduit à programmer une école thématique sur le thème « des » modélisations.

L'originalité de cette école, qui a pu paraître ambitieuse au premier abord, a été d'aborder l'ensemble des aspects liés à ces méthodes numériques, depuis les méthodes de modélisation structurale (au travers des méthodes ab-initio, de dynamique moléculaire, de Monte-Carlo Inverse (RMC)), les méthodes d'aide à l'exploitation des résultats spectroscopiques (RMN, EXAFS, Raman...), la prédiction des propriétés d'usage des verres (fluage, indentation) jusqu'à la modélisation thermomécaniques des verres par la méthode des éléments finis. Le

programme pédagogique a donc été construit de manière à aborder les aspects de modélisation depuis leurs concepts jusqu'aux applications, et des cours-conférences ont permis de présenter des sujets plus approfondis. Les cours ont souvent abordé la question de l'apport des modélisations pour la caractérisation structurale. Il s'agit en effet d'un domaine où la France est en pointe, et de nombreuses équipes sont de stature internationale dans ce domaine. Des ateliers thématiques « nucléation-cristallisation », « Redox », « terres rares » ont été organisés, pour lesquels les développements instrumentaux spécifiques ont été présentés (par exemple : microscopie haute-résolution pour détecter les nuclei, valence et coordinence des métaux de transition par RPE pulsée, environnement des terres-rares par méthodes synchrotron). De manière plus spécifique, un colloque a été organisé sur le thème « Aux limites de la caractérisation élémentaire dans les matériaux, une contrainte scientifique et industrielle ». Il a inclus des aspects instrumentaux (microsonde atomique et ionique, synchrotron, RMN hauts-champs...), mais aussi la réglementation des matériaux en contact alimentaire, ou la réglementation REACH dans ce domaine. Ces réglementations tendent à imposer des limites toujours plus poussées, qui obligent à pousser les caractérisations à leurs limites. Cette action a été soutenue par le CNRS dans le cadre de l'appel à projets de la mission pour l'interdisciplinarité, dans la catégorie « défis instrumentaux ».

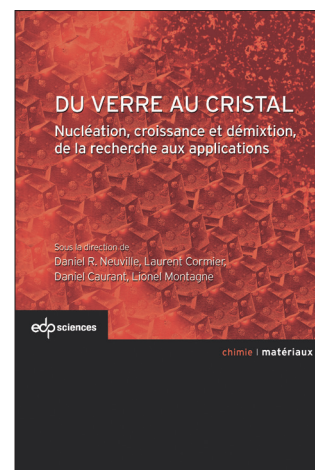
Hétérogénéités, nucléation, croissance

Les concepts de nucléation et de cristallisation des matrices vitreuses sont connus depuis longtemps, mais de nouvelles théories ou des améliorations des procédés d'élaboration sont apparues récemment. De plus, des applications nouvelles sont en cours

de développement (vitrrocéramiques transparentes, stockage pérenne de l'information, matrices d'inertage de déchets nucléaires, scellement de piles à combustible...).

Les phénomènes de nucléation et cristallisation de matrices vitreuses constituent un domaine pluridisciplinaire par excellence : la chimie est concernée par les aspects matériaux (élaboration, structure-propriétés, familles de compositions, ...), les sciences de l'univers sont concernées par la cristallisation des magmas et des laves volcaniques mais aussi de fontes industrielles de composition proche, la physique est concernée par les aspects conceptuels et expérimentaux de la nucléation-croissance cristalline. De nombreux travaux sont en cours dans les laboratoires (notamment des thèses) sur cette thématique, aussi il est apparu très utile de faire un point sur les dernières avancées tant au niveau conceptuel qu'expérimental. Il faut noter que ces aspects nucléation-cristallisation couvrent différentes catégories de verres, les verres d'oxydes bien entendu, mais aussi des verres moins classiques (chalcogénures, fluorures, métalliques).

Une école thématique a permis de présenter les nouveaux concepts dans le domaine de la nucléation, les développements des méthodes de caractérisations dédiées, les applications récentes dans le domaine des vitrocéramiques.



Il faut noter qu'un ouvrage a été édité à l'occasion de cette école, il reprend les contenus des cours. Cet ouvrage est ainsi une référence dans le domaine, et sera très utile aux doctorants mais aussi aux chercheurs intéressés par ce domaine en forte progression. Une édition anglaise paraîtra fin 2015.

Efficacité énergétique, verres à haute température

Cette action a débuté lors du symposium « verres et hautes températures » organisé lors du congrès Matériaux 2010 à Nantes. Différents aspects de cette problématique scientifique ont été abordés, comme les caractérisations structurales in-situ à haute température, le redox, la viscosité, la modélisation du comportement des fours verriers, les transferts thermiques.

Sur la question du Redox des verres, un atelier spécifique a été organisé pour faire le point sur cette question complexe. Les points abordés ont concerné la relation entre le redox et la fusion des verres industriels, les aspects redox et verres aluminosilicatés d'intérêt géochimique, les méthodes de détermination du redox, le redox et les verres nucléaires, le rôle du redox dans la corrosion des céramiques.

L'état vitreux : mesurer et comprendre les liens entre propriétés et structure, du solide au fondu

À l'aide d'un ensemble de nouveaux développements expérimentaux à haute température (RMN, Raman, absorption et diffraction de rayons X et de neutrons...) il est désormais possible de déterminer la structure d'un matériau quel que soit son état : verre, cristal, liquide stable, liquide surfondu. Ces nouvelles approches permettent de mieux comprendre le lien intime « propriétés versus structure », ce qui est d'un intérêt fondamental pour la

recherche de base, mais également d'une importance capitale pour comprendre les processus naturels qui se produisent dans la Terre et les procédés mis en place dans les processus industriels.

Relier les données structurales aux propriétés physiques macroscopiques des verres d'oxydes à haute température reste un challenge scientifique. On citera la viscosité, la diffusion, la conductivité thermique, la conductivité électrique, la densité, la capacité calorifique. Le développement des méthodes de mesure de ces propriétés est l'objet de travaux importants, certaines d'entre elles n'étant pas toujours bien établies de manière complètement rigoureuse.

Parmi les nouvelles grandes questions sur la nature des réseaux vitreux, on peut citer :

Qu'est-ce qu'un formateur de réseau d'un point de vue d'une part des propriétés et d'autre part de son positionnement dans le réseau vitreux. Quelles nouvelles informations nous donnent les récentes avancées en analyses structurales et en dynamique moléculaire? Existe-t-il un plus petit dénominateur commun à tous les verres? De manière corollaire, qu'est-ce qu'un modificateur de réseau et comment évolue-t-il en compensateur de charge selon la composition? Quel est son rôle dans les mécanismes de nucléation? Formateur ou modificateur, comment relier ces notions aux nouveaux concepts de topologie de réseau vitreux qui émergent actuellement dans la communauté scientifique internationale?

Il paraît évident que le verre classique est un matériau homogène. Pourtant, suite aux travaux précurseurs de Greaves dans les années 90, il est maintenant accepté que le verre présente une organisation plus ou moins prononcée à moyenne distance. Les verres seraient « structurés » en zones enrichies en éléments formateurs de réseau et en autres zones enrichies en éléments modificateurs. Mais si de telles zones de « micro-nano-hétérogénéités »

existent, comment influencent-elles les propriétés macroscopiques? Et au final, si de telles zones existent, est-ce qu'elles ne contrôlent pas l'ensemble de la dynamique des systèmes vitreux? Ces questions restent sans réponse à ce jour.

Les questions mentionnées ci-dessus sont focalisées sur les verres d'oxydes, mais elles s'appliquent aussi aux autres familles de verre : verre métallique, verre organique, ionique, moléculaire, de spin, verre de chalcogénures. Le caractère multidisciplinaire de la communauté scientifique verrière française permet de couvrir tous ces champs de compositions et d'offrir ainsi des perspectives de développement de nouveaux matériaux vitreux.

Entre le matériau verre et le fondu, les états intermédiaires entrent dans le champ d'intérêt des questionnements, en particulier ceux qui interviennent au voisinage de transition vitreuse, où les aspects dynamiques soulèvent encore beaucoup d'intérêt de la part de la communauté internationale.

Enfin, la communauté scientifique française possède de fortes compétences dans les synthèses alternatives de matériaux vitreux : synthèses douces, flash, micro-ondes, ou bio-inspirées. Des questions ouvertes persistent sur l'influence du mode d'élaboration sur la structure fine du verre et les conséquences sur les propriétés. Cette notion est particulièrement importante dans le cas du fibrage, et l'apparition de nouvelles compositions de fibres la rend d'actualité.

REACH : une problématique sociétale, enjeux et stratégie pour la conception et l'élaboration de nouveaux verres du laboratoire à l'industrie

Le développement de nouvelles formulations, ou de formulations alternatives en vue de s'adapter à la réglementation

REACH représente un enjeu important pour la conception de nouveaux types de matériaux. Il est évident qu'il faut comprendre, expliquer et transmettre au législateur qu'un verre est un ensemble homogène et pas un ensemble d'éléments séparés et que ce « tout » présente une structure unique et stable vis à vis de paramètres extérieurs tels que l'eau, l'abrasion, la température. Cependant, le verre n'est pas un matériau totalement inerte, les besoins d'études sur sa réactivité sont encore importants. L'altération du verre par l'eau ou des milieux plus complexes reste une thématique scientifique clé, sur laquelle de nombreuses équipes travaillent. L'altération des verres de confinement de déchets nucléaire en est bien sûr un aspect important. Ces travaux sur l'altération de verres sont étroitement liés aux problématiques des matériaux en contact avec les aliments.

Propriétés avancées : de la caractérisation aux applications

Le verre a bien-sûr bénéficié des avancées dans les nanosciences ces dernières années. Beaucoup d'applications

sont maintenant industrialisées, mais de nombreux aspects sont encore en développement : influence de la nanostructuration sur les propriétés mécaniques, fibres optiques photoniques nanostructurées, vitrocéramiques transparentes nanocristallisées.

Les récents progrès réalisés sur la compréhension des propriétés mécaniques par des équipes françaises méritent d'être partagés: fatigue, force et contrainte résiduelles, amélioration de la simulation vers des vitesses de déformation ou de trempe réalistes, études à des vitesses taux de contraintes déformation et chargement mécaniques très élevées (problèmes de contact), phénomènes d'auto-réparabilité cicatrization des défauts.

Les propriétés optiques des verres sont aussi une activité majeure des équipes françaises, elles sont donc largement abordées dans les réunions, comme par exemple les développements sur les nanostructurations ou vitrocéramisation.

En conclusion

Parmi les nombreuses questions qui restent ouvertes dans le domaine des matériaux vitreux, une des principales

réside dans la compréhension des liens entre la structure des verres ou vitrocéramiques et les propriétés d'usage. Une autre question non moins importante consiste à déterminer le lien entre la propriété recherchée dans le matériau fini formant l'objet technologique (transfert photonique, transparence, transport...) et la propriété du matériau vitreux initial, autrement dit : comment prendre en compte les paramètres d'élaboration ? Existe-t-il par exemple un jeu de paramètres qui permettraient, à partir d'une propriété de la préforme de verre, de prédire la propriété recherchée dans la fibre de verre? Nous avons reporté dans cet article une série de questions au centre d'enjeux sociétaux et technologiques de demain, et auxquels les matériaux vitreux peuvent contribuer par leur versatilité en termes de compositions et propriétés. Le réseau animé par le GDR-Verres et l'USTV crée un lien entre les équipes de recherche fondamentale, celles plus appliquée ou technologiques, et le monde industriel. Ce lien permettra sans aucun doute de contribuer à maintenir la recherche verrière française au meilleur niveau international où elle se trouve depuis de nombreuses années.

PUB : L 186 mm x H 80 mm