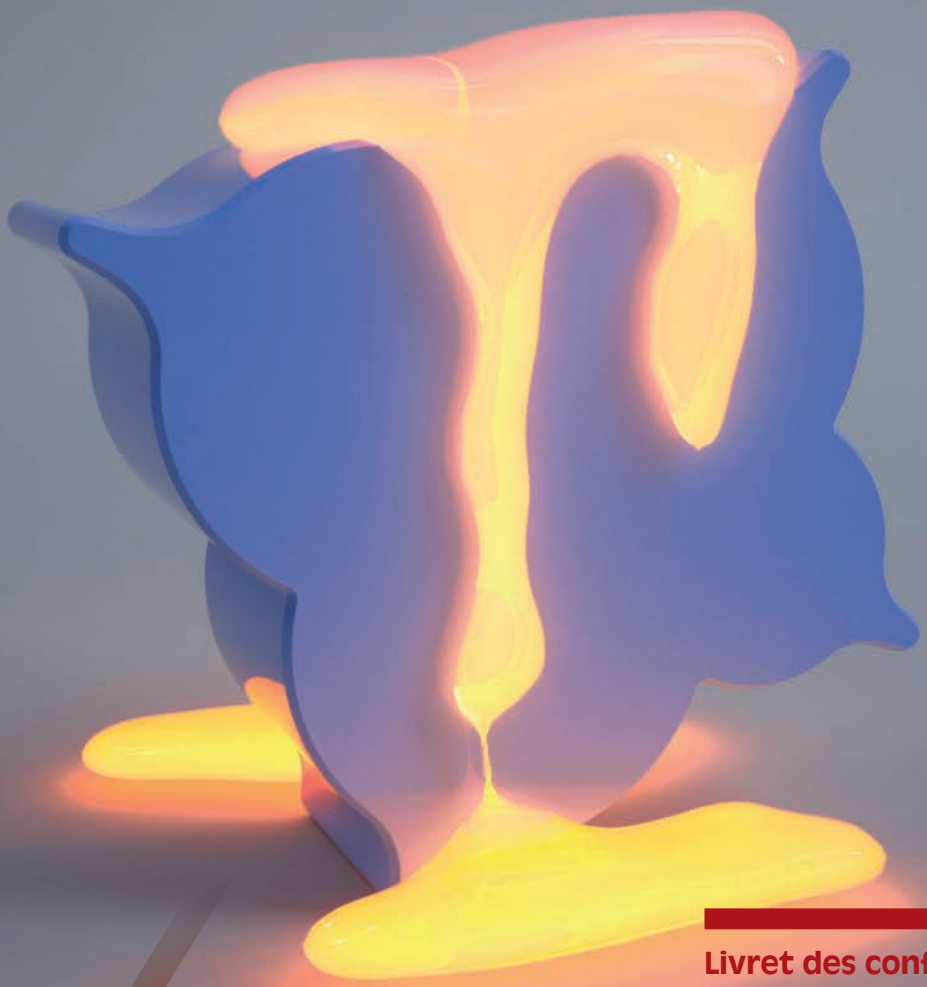
— LES JOURNÉES RÉVELOR —

24

VERS LA TRANSITION VITREUSE ET AU-DELÀ



Livret des conférences
Deux journées de réflexion et de prospective sur le thème du verre à chaud.

- La chimie de la fusion
- La coloration du verre en bassin et en feeder
- La mise en forme
- Le contact verre – moule
- La corrosion

25

janvier 2019 Nancy

Inscription sur www.revelor.fr

BIENVENUE À CES JOURNÉES RÉVELOR !

Révelor réunit les laboratoires, les plates-formes techniques et les entreprises de la filière verre, et a pour but de coordonner des programmes de recherche partagés.

Les Journées Révelor deviennent une biennale intéressant l'ensemble des acteurs de la filière verre au plan national. Les thèmes sont traités de manière concrète et pragmatique. Ils reflètent les préoccupations actuelles des industriels.

Le thème, pour l'édition 2019, sur le verre à chaud, a été choisi après plusieurs consultations des entreprises de la filière, il y a tout juste 1 an. Cette thématique renvoie aux applications et aux usages innovants permis par le verre, matériau à maîtriser en tant que tel, mais aussi pour le support qu'il constitue et les diverses fonctions innovantes auxquelles il peut se prêter dès lors que son élaboration et sa mise en forme sont maîtrisées.

Diverses questions pragmatiques doivent être posées aux intervenants, du type :

- En quoi la maîtrise de la fusion du verre permet-elle de développer de nouvelles applications ?
- Comment les nouvelles formulations de verre et colorations peuvent-elles générer des innovations et de nouvelles applications ?
- Comment élaborer de nouveaux verres à moindre coût énergétique ?
- En quoi la maîtrise des procédés à chaud peut préserver les installations ?
- Quels sont les enjeux ? Quels sont les verrous ?

Ces rencontres offrent une forte visibilité et confirment aux entreprises, aux fédérations, aux bureaux d'études et autres consultants et porteurs de projet que le verre est un matériau important dans notre région et qu'elle est forte d'un réseau d'acteurs et de compétences.

Nous souhaitons donc que ces journées soient le lieu d'échange fructueux entre les différents participants, industriels, professionnels du verre et universitaires, et puissent générer de futures collaborations.

Bon colloque à toutes et tous !
Christophe Rapin, président de Révelor

Jeudi 24 Janvier 2019

9h50
Christophe Rapin - Révelor, IJL
Mot de bienvenue

10h00
Jean-Marc Popot - Directeur
Critt MDTS
MATREX : Perspectives alliages et traitements de surface pour les moules de verrerie.

10h30
Isabelle Tannou - Ingénieur de recherche
Verallia
Réduction des organiques du calcin par utilisation de micro-organismes.

11h00
Pause café

11h30
Franck Pigeonneau - Chargé de recherche, groupe Rhéologie, Microstructure, Procédés
CEMEF, Mines ParisTech, UMR CNRS 7635
Modélisation des processus d'affinage et d'oxydoréduction dans les fours industriels.

12h00
Pauline Darbouret - Responsable technico-commercial
Ferro France
Coloration en feeder : défis d'aujourd'hui et de demain.

12h30
Olivier Grandval - Responsable fusion
Lalique
Contrôle de la couleur en cristallerie.

13h00
Pause déjeuner - Buffet sur place

14h15
Sébastien Donze - Directeur R&D
Arc
Modélisation de la génération de contraintes lors de la trempe du verre.

14h45
Sarah Hocine - Post-doctorat - Laboratoire de Développement des Procédés de Vitrification
CEA Marcoule
Simulation de la cinétique de l'élaboration des verres de conditionnement.

15h15
Pause café

15h45
Daniel Coillot - Ingénieur R&D
Baccarat
Interaction Cristal / Réfractaire à l'origine des défauts de type infondus

16h15
Pierre-Jean Panteix - Ingénieur de Recherche CNRS
Institut Jean Lamour
Corrosion par les liquides silicatés : caractérisation in situ par les méthodes électrochimiques

16h45
Bilan de la journée autour d'un café

20h30
Banquet

10h00

Jean-Marc Popot - Directeur

Critt MDTS

MATREX : Perspectives alliages et traitements de surface pour les moules de verrerie.

MATREX, cofinancé par la Région Grand Est et le FEDER, est un projet de ressourcement collaboratif réunissant trois Centres de Ressources Technologiques (CERFAV, CM2T et CRITT-MDTS) et un centre technique (ICAR) du Grand Est. Son principal objectif est de créer un pôle d'expertise de haut niveau sur l'utilisation des matériaux dans des conditions extrêmes, en vue d'accompagner notre industrie et de réaliser des actions de diffusion technologique sur ces sujets.

Cette problématique de tenue des matériaux dans des conditions d'utilisation extrêmes (sollicitations mécaniques, thermiques, physico-chimiques ou tout cela en même temps) est une préoccupation partagée par beaucoup d'acteurs industriels de notre région, et notamment ceux qui mettent en œuvre le matériau verre. L'un des sujets principaux est l'usure et la durée de vie des outils de travail à chaud des matériaux, en particulier des moules verriers.

MATREX se propose de réaliser un état de l'art abouti dans ce domaine, en recherchant les innovations les plus prometteuses et en les mettant en œuvre dans un environnement proche des conditions industrielles afin d'évaluer leurs performances techniques et économiques, leur robustesse, leurs impacts sécurité et environnemental... Le but ultime de MATREX est d'accompagner, sur cette thématique, les industriels dans la mise en œuvre de solutions innovantes et maîtrisées qui contribueront à leur excellence et leur compétitivité.

Le projet MATREX ambitionne ainsi d'accompagner l'industrie du futur dans le maintien d'un équilibre efficace entre la nécessité d'un processus maîtrisé et la nécessité d'innover.

NOTES :

10h30

Isabelle Tannou - Ingénieur de recherche

Verallia

Réduction des organiques du calcin par utilisation de micro-organismes.

Le calcin est une des principales matières premières utilisées dans l'industrie du verre d'emballage, mais son introduction dans les fours n'est pas toujours sans risques.

Parmi les difficultés rencontrées, la présence de polluants organiques tels que les résidus alimentaires peut entraîner des variations de teinte liées à une modification du redox. L'une des techniques mise en œuvre pour réduire la quantité de polluants organiques dans le calcin est le vieillissement, toutefois cette méthode implique d'importants efforts logistiques.

Ainsi, nous avons évalué la faisabilité d'améliorer le vieillissement du calcin par l'introduction de micro-organismes permettant une dégradation accélérée des polluants.

En effet, l'emploi de micro-organismes s'est développé dans plusieurs domaines, notamment le traitement des eaux polluées, pour des problématiques comparables.

Différents types de micro-organismes ont été testés (bactéries, levures, mélanges, etc.) et leurs capacités ont été évaluées.

NOTES :

11h30

Franck Pigeonneau - Chargé de recherche, groupe Rhéologie, Microstructure, Procédés

CEMEF, Mines ParisTech, UMR CNRS 7635

Modélisation des processus d'affinage et d'oxydoréduction dans les fours industriels.

L'élaboration des verres industriels est réalisée en portant à haute température des matières premières. Ces dernières, issues de ressources naturelles, sont carbonées.

Le passage à haute température permet la formation du liquide formateur de verre avec une présente importante de défauts tels que des infondus et des inclusions gazeuses.

L'étape qui consiste à éliminer ces défauts s'appelle l'affinage. On se limitera à décrire l'évolution des bulles emprisonnées dans le liquide. L'affinage est un processus physico-chimique. Pour évacuer des inclusions gazeuses, la température est élevée de sorte à réduite la viscosité dynamique du liquide.

Des agents chimiques, dits affinants, sont introduits dans les matières premières qui sont principalement des éléments polyvalents. À haute température, les états réduits étant favorisés, le verre se sature en oxygène permettant un accroissement des bulles. Ces deux effets facilitent l'élimination des bulles.

Au cours de cette présentation, la modélisation des processus d'affinage sera abordée en insistant sur le fait que les transferts de masse sont caractérisés par des aspects multi-espèces gazeuses, l'importance du mouvement relatif des bulles et des réactions d'oxydo-réduction.

On montrera que l'affinage contribue à l'équilibrage chimique du verre en cours d'élaboration. Les calculs de thermodynamique à l'équilibre et ceux couplant le transfert de masse entre bulles et les réactions d'oxydo-réduction montrent que les verres ne sont pas à l'équilibre thermodynamique.

NOTES :

12h00

Pauline Darbouret - Responsable technico-commercial

Ferro France

Coloration en feeder : défis d'aujourd'hui et de demain.

Colorer le verre blanc en feeder, plutôt qu'en four, a été une innovation majeure pour les verriers des arts de la table et de l'emballage.

Cette technologie a permis de repousser la customisation des articles industriels en verre, quand la coloration dans la masse imposait au fabricant et au donneur d'ordre des quantités conséquentes d'articles.

Néanmoins, cette flexibilité s'opère au prix de beaucoup de patience, d'expériences et d'une compréhension approfondie des comportements physico-chimiques du verre.

Cet exposé propose de résumer les défis techniques quotidiens de la coloration en feeder : d'une part la maîtrise des défauts (bouillons, cristallisations, etc.), d'autre part le respect des réglementations en vigueur.

Cette contrainte, de plus en plus forte pour les verres industriels colorés, nous emmènera sur les axes de recherche et de développement qui garantiront encore de beaux jours à la couleur minérale du verre sodocalcique, tout en respectant les utilisateurs et notre environnement.

NOTES :

12h30

Olivier Grandval - Responsable fusion

Lalique

Contrôle de la couleur en cristallerie.

Avec un four à 12 pots, la couleur a une place de taille dans la manufacture Lalique.

Approche scientifique et pratique de la colorimétrie dans le système LAB et perspective d'évolution de la maîtrise du procédé avec l'analyse par fluorescence X.

NOTES :

14h15

Sébastien Donze - Directeur R&D Arc

Jean-Luc Harion - Professeur IMT Lille Douai

Modélisation de la génération de contraintes lors de la trempe du verre.

Les articles en verre trempés représentent une part très significative en volumes de production et de vente sur les marchés liés aux arts de la table, pour lesquels ARC est un des leaders mondiaux. En termes de production, l'exigence accrue des cahiers des charges clients, de qualité de production, mais aussi de limitation de l'impact environnemental, nécessite une maîtrise accrue et des connaissances plus fines et précises du process.

Ainsi, une attention très particulière est portée par ARC à cette phase particulière du procédé verrier et une constante innovation est apportée pour améliorer ses performances.

En parallèle d'études et de recherches menées sur bancs expérimentaux spécifiques et de tests sur chaînes de production, la modélisation numérique représente un outil central d'investigation et de recherche. La trempe du verre fait intervenir un nombre significatif de paramètres physiques et physico-chimiques tels que notamment les configurations géométriques, la thermique de refroidissement et de chauffage, ou encore la composition du verre.

L'analyse bibliographique sur la modélisation de la trempe du verre fait apparaître plusieurs points clés de développement pour une utilisation dimensionnante et prédictive dans l'industrie verrière des arts de la table :

- *Prise en compte et analyse détaillée des effets tridimensionnels. Les productions dans l'industrie des arts de la table sont très fortement tridimensionnelles, tant en géométries qu'en répartitions d'épaisseurs. L'évolution des designs va dans le sens d'une accentuation de ce point.*

- *Couplage conducto-convectif. Les conditions limites prises en compte dans la bibliographie portent quasi-exclusivement sur des coefficients de transfert imposés uniformément en surface. Les systèmes de refroidissement sont loin de produire réellement ce type de condition limite thermique.*

- *Optimisation. Au-delà du dimensionnement et des enjeux de production rappelés précédemment, la modélisation permet de mettre en place des boucles de calculs afin d'optimiser une fonction objectif donnée.*

- *Validations et vérifications expérimentales des contraintes produites. Les mesures de contraintes dans les verres trempés, notamment en configurations fortement tridimensionnelles, représentent également un enjeu important notamment pour disposer d'outil de vérification et validation des modèles.*

NOTES :

14h45

Sarah Hocine - Post-doctorat - Laboratoire de Développement des Procédés de Vitrification

CEA Marcoule

Simulation de la cinétique de l'élaboration des verres de conditionnement.

Les verres de conditionnement des déchets nucléaires sont réalisés à l'échelle industrielle par un procédé de calcination-vitrification à haute température, à partir d'un précurseur vitreux (fritte de verre de type alumino-borosilicate de sodium) et du déchet calciné (mélange d'une trentaine de composés oxydes et nitrates obtenus après l'étape de calcination).

Au cours de l'élaboration du verre, une succession de processus physico-chimiques d'imprégnation, dénitration, cristallisation et de dissolution se produisent afin d'intégrer les éléments présents initialement dans le déchet calciné au sein du réseau vitreux.

Afin de comprendre l'ensemble de ces processus et à terme les prédire, des études sont conduites au sein du Service d'Étude de Vitrification et des procédés haute Température du CEA Marcoule.

La méthode développée consiste à coupler les lois de cinétiques réactionnelles des processus thermiquement activés (dénitration, cristallisation, dissolution) à un modèle magnéto-thermo-hydraulique qui décrit la physique des fours de vitrification [1]. La simulation numérique mise en œuvre, construite sur la base d'un modèle de cinétique chimique et d'un modèle thermique, sera exposée dans cette présentation.

Les méthodologies expérimentales développées pour ces deux approches (analyses ATD/ATG, microsondes) et les lois cinétiques considérées (degré de conversion des réactions thermo-activées, loi cinétique puissance Noyes-Whitney du 1er ordre [2, 3]) seront décrites.

Des exemples de simulation intégrant les équations implémentées et résolues dans les outils de mécanique des fluides (Ansys Fluent) par une approche Lagrangienne et Eulérienne seront ensuite présentés et discutés.

CEA, ORANO et EDF sont remerciés pour leur support financier.

[1] Guillaume Barba Rossa « Modélisation multiphysique de l'élaboration de verre en creuset froid » Université de Grenoble Alpes 2017.

[2] Elodie Boué, « Etude de la réactivité chimique entre les précurseurs lors de l'élaboration de verres nucléaires enrichis en molybdène », Université Toulouse III Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), 2017.

[3] Noyes A.A., Whitney W.R., 1897. The rate of solution of solid substances in their own solutions. J. Am. Chem. Soc. 19, 930-934.

NOTES :

15h45

Daniel Coillot - Ingénieur R&D

Baccarat

Interaction Cristal / Réfractaire à l'origine des défauts de type infondus

Baccarat est une entreprise de plus de 250 ans qui produit et vend sous son propre nom une grande variété d'articles en cristal tels que des carafes, des verres, des articles de décoration, du luminaire et des bijoux.

Son savoir-faire est artisanal et sa production est en grande partie basée sur une fabrication manuelle. La manufacture, basée en Meurthe-et-Moselle, tend au fil du temps à se moderniser et réduire ses coûts de fonctionnement tout en conservant la volonté de produire des articles complexes avec une qualité optimale.

Une partie de la production des articles se fait à partir d'un four à pot, équipement traditionnellement utilisé dans les verreries manuelles. Ce dernier permet une grande flexibilité pour les verriers (production de petites quantités, diverses compositions, travail simultané sur plusieurs pots...). Toutefois, il présente l'inconvénient de produire du verre avec un taux de défaut plus important que le verre issu des fours à bassins.

Dans ce cadre, l'objectif des travaux présentés ici était de comprendre l'origine de la « malfinesse » issue de la production du verre en four à pot en se focalisant sur les défauts de type cailloux/pierre.

Ces derniers ont plusieurs origines mais sont en grande partie dus à une interaction entre les phases gazeuses du verre en fusion et le pot. La dégradation du pot sous-jacent entraine indirectement la présence de défauts cristallisés dans le bain de verre et donc dans les articles produits.

NOTES :

16h15

Pierre-Jean Panteix - Ingénieur de Recherche CNRS

Institut Jean Lamour

Corrosion par les liquides silicatés : caractérisation in situ par les méthodes électrochimiques.

En raison de leurs propriétés acido-basiques et oxydo-réductrices, les liquides silicatés sont des milieux particulièrement corrosifs à haute température dans un grand nombre d'applications impliquant un contact avec un matériau céramique ou métallique.

Ce sont en effet des milieux complexes à oxoanions dans lesquels les espèces ioniques sont facilement dissoutes. En raison de leur conductivité ionique, il est possible d'y adapter les techniques électrochimiques classiquement mises en œuvre en milieu aqueux à basse température afin de caractériser plusieurs propriétés physico-chimiques dans ces systèmes.

L'utilisation d'une électrode de travail inerte permet de déterminer le domaine électro-actif du milieu, puis d'évaluer les potentiels standards des espèces oxydantes.

Ces données thermodynamiques peuvent permettre de prédire les réactions chimiques. De plus, des grandeurs cinétiques telles que les coefficients de diffusion d'espèces multivalentes dissoutes peuvent être mesurées via des techniques de voltammétrie cyclique ou à signaux carrés de potentiels. Une électrode de travail constituée par un alliage donne in situ une information sur son état passif ou actif dans le milieu considéré. Un suivi de potentiel en conditions isothermes ou lors d'une montée en température permet d'observer la dépassivation.

Par ces mesures il a été montré, par exemple, qu'un alliage alumino-formeur résiste moins de 5 minutes dans un liquide sodo-calcique à 1100 °C, alors qu'un alliage chromino-formeur tient plusieurs dizaines d'heures dans les mêmes conditions.

NOTES :

Vendredi 25 Janvier 2019

08h45
Laurent Tissandier - Ingénieur d'études
CRPG, CNRS
Les verres géologiques : une verrerie naturelle.

09h15
Élise Régnier - Ingénieur Chercheur
CEA Marcoule
Formation et dissolution de phases cristallines au cours de l'élaboration des verres nucléaires.

09h45
Pause café

10h15
Eric Meux - Enseignant-Chercheur
Institut Jean Lamour
Émissions atmosphériques de l'industrie verrière: normes de rejet, impact environnemental et traitement des fumées.

10h45
Allan Fredholm - Principal R&D Scientist, Glass forming
CETC, Corning
Exemples de procédés de mise en forme de verre.

11h15
Benjamin Remy - Professeur - Responsable du groupe Gestion de la Chaleur
LEMTA
Modélisation et simulation du contact verre-moule lors de la mise en forme du verre - Application pour le groupe Pochet

11h45
Pause déjeuner - Buffet sur place

13h30
Visite des installations du Cerfav à Vannes-le-Châtel, démonstration de soufflage à la canne.

15h30
Retour sur Nancy

08h45

Laurent Tissandier - Ingénieur d'études

CRPG, CNRS

Les verres géologiques : une verrerie naturelle.

Le matériau verre est utilisé depuis des temps immémoriaux par les hommes, d'abord comme outil ou arme, puis progressivement comme objet d'ornementation, matériau de construction.

Jusqu'à ce que sa production soit maîtrisée, ces verres étaient d'origine naturelle, et produits par des phénomènes géologiques ou atmosphériques variés mais tous de forte énergie.

Ces épisodes successifs d'échauffement - trempe peuvent être dus à des impacts, au refroidissement progressif de la Terre via les éruptions volcaniques, ou encore à l'affrontement des plaques tectoniques.

La diversité de ces processus permet une variété, dans les compositions et les formes de leurs produits, qui peut se rapprocher de celle obtenue dans les verreries modernes. Dans les dernières années, l'exploration et l'analyse des objets extraterrestres prouvent que ces verres se retrouvent dans tout le Système Solaire, montrant ainsi leur caractère ubiquiste.

Qu'ils soient fibrés, coulés, soufflés, leur étude permet de remonter à leurs conditions de formation (température, redox, pression, etc.). Ainsi leurs compositions chimiques peuvent être fortement modifiées par leur environnement, et affecter en retour leur durabilité qui reste cependant une de leurs propriétés les plus intéressantes. D'une manière générale, ils permettent de remonter à des événements intervenus il y a plusieurs dizaines de millions d'années (voire beaucoup plus pour les objets extraterrestres) et ainsi apporter des contraintes fortes sur l'histoire de leurs roches hôtes.

NOTES :

09h15

Élise Régnier - Ingénieur Chercheur

CEA Marcoule

Formation et dissolution de phases cristallines au cours de l'élaboration des verres nucléaires.

En France, les déchets de Haute Activité à Vie Longue (HA-VL) issus du traitement des combustibles UOx utilisés dans les centrales nucléaires EDF sont confinés dans des verres à l'usine de La Hague.

La vitrification de ces déchets consiste à incorporer les produits de fission et actinides mineurs dans des verres borosilicatés à haute température (1100 à 1200°C selon la technologie de four utilisée).

Au cours de l'élaboration de ces verres nucléaires, des phases cristallines telles que des silicates de terres rares (de type apatites Ca2Nd8(SiO4)6O2), cérianite (Ce/ZrO2) ou powellite (CaMoO4) sont susceptibles de se former puis de se dissoudre.

La bonne maîtrise du procédé passe ainsi par la connaissance, entre autres, des mécanismes de cristallisation, et éventuellement de dissolution, dans la fonte verrière et dans le verre refroidi. Pour cela, le CEA s'intéresse à la détermination des cinétiques de formation des cristaux, à la détermination de leur température de liquidus Tliq et à leur cinétique de dissolution autour de Tliq [1, 2].

En outre, dans le cas de la vitrification des déchets nucléaires avec la technologie dite du Creuset Froid, des études sur l'impact d'un fort gradient thermique (1000°C. cm-1) sur la croissance cristalline sont également menées.

Pour ce faire, un banc expérimental spécifique permettant des traitements thermiques sur de longues durées (10 semaines) a été développé.

Le but de ces expériences est de vérifier l'impact du gradient thermique sur les mécanismes de croissance, de telles conditions étant susceptibles de conduire par exemple à une orientation préférentielle des cristaux [3, 4].

[1] O. Delattre, O. Delattre, Cristallisation de fontes verrières d'intérêt nucléaire en présence d'un gradient thermique : application aux auto-creusets produits en creuset froid, Orléans University (2013).

[2] J. Renaud-Fournier, Cinétiques de dissolution des cristaux dans les silicates fondus – contexte des verres nucléaires, Montpellier University (2018).

[3] Y. Ochi, T. Meguro, K. Kakegawa, Orientated crystallization of fresnoite glass-ceramics by using a thermal gradient, Journal of the european ceramic society 26 (2006) 627-630.

[4] F. Faure, N. Arndt, G. Libourel, Formation of spinifex textures in komatiites : an experimental study, Journal of petrology 47 (2006) 1592-1610.

NOTES :

10h15

Eric Meux - Enseignant-Chercheur

Institut Jean Lamour

Émissions atmosphériques de l'industrie verrière: normes de rejet, impact environnemental et traitement des fumées.

Comme toute activité industrielle susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, les entreprises du secteur verrier, qu'il s'agisse de verre mécanique (verre plat, verre creux, fibres...) ou de cristal, sont toutes des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à autorisation préfectorale.

Cette autorisation précise notamment les valeurs limites des émissions atmosphériques de l'entreprise et les conditions de rejet des eaux industrielles dans le milieu naturel.

Cette présentation abordera exclusivement le problème des émissions atmosphériques de l'industrie verrière. Elles sont liées au fonctionnement des installations mais également aux matières premières utilisées susceptibles notamment de provoquer des envols de poussières durant les opérations de broyage ou au niveau des fours.

Après avoir fait l'inventaire des polluants atmosphériques émis par l'industrie verrière, seront abordés leur impact sur l'homme et l'environnement puis les dispositifs permettant la mise en conformité des rejets atmosphériques avec les valeurs limites précisées dans l'arrêté préfectoral du site.

Enfin, à partir de données issues du Registre des Emissions Polluantes (IREP), on comparera les rejets de quelques entreprises verrières du Grand Est avec des gros émetteurs de polluants atmosphériques (sidérurgie, centrales thermiques...)

NOTES :

10h45

Allan Fredholm - Principal R&D Scientist, Glass forming

CETC, Corning

Exemples de procédés de mise en forme de verre.

Corning est une société américaine possédant un pôle très important dans les verres spéciaux.

La présentation vise à décrire les missions de l'équipe R&D formage du verre du Centre Européen de Recherche de Corning. Quelques exemples suivront, d'industrialisation effectuée ou de types d'étude de procédé menées, en particulier dans le domaine du verre plat.

NOTES :

11h15

Benjamin Remy - Professeur - Responsable du groupe gestion de la Chaleur

LEMTA

Modélisation et simulation du contact verre-moule lors de la mise en forme du verre - Application pour le groupe Pochet

Cette étude porte sur la fabrication des flacons de verre par soufflage automatique en collaboration avec le groupe Pochet du Courval.

L'opération de remplissage de moules est complexe car on considère en général pour chacun des deux moules utilisés pour mettre en forme la pièce en verre que l'on souhaite former, quatre étapes successives d'une durée totale de 7 secondes seulement.

La compréhension des phénomènes de transferts thermiques lors du refroidissement de la pâte de verre au contact du moule de formage est primordiale afin d'éviter l'apparition de défauts sur les flacons.

L'approche classique de ce genre de problème de transfert fluide/paroi consiste à modéliser le transfert à l'interface par une résistance thermique de contact ou un « coefficient d'échange » variable en temps et en espace.

Cependant cette représentation du transfert thermique fluide/paroi est loin d'être la plus pertinente, puisque la résistance thermique ainsi introduite n'est plus intrinsèque à l'interface mais dépend des conditions aux limites thermiques variables en espace et en temps.

On introduit, au lieu de la résistance thermique, une impédance thermique qui apparaît sous la forme d'un produit de convolution avec le flux de paroi.

Ces modèles thermiques (convolutifs ou paramétriques) sont identifiés à partir de données expérimentales. Ces conditions intrinsèques sont ensuite utilisées dans une modélisation thermique 3D locale sous COMSOL dans les moules au cours de la fabrication sur les machines. Nos résultats de simulation thermique seront suivis d'une étude expérimentale afin de valider l'approche proposée.

NOTES :

NOS PARTENAIRES

Révelor

Cerfav
Centre européen de recherches et de formation aux arts verriers
Formation - Ressource & Innovation - Culture

Grand Est
ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE

l'Europe s'engage en Lorraine
avec le FSE

UNION EUROPÉENNE
Fonds Social Européen

métropole GrandNancy

ville de Nancy

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

cnrs

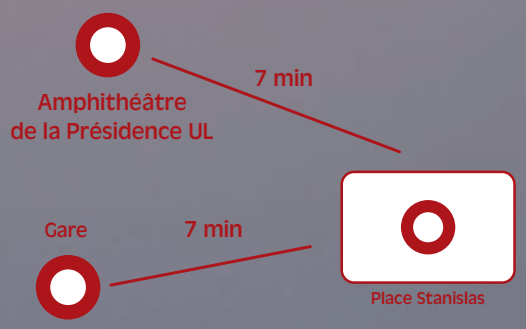
PÔLE M4
Matière, Matériaux, Métallurgie, Mécanique

DGE
DIRECTION GÉNÉRALE DES ENTREPRISES

INSTITUT JEAN LAMOUR

— LES JOURNÉES RÉVELOR —

LIEU : en plein centre ville, autour de la place Stanislas.

Amphithéâtre de la Présidence de L'Université de Lorraine - 34 cours Léopold - 54000 Nancy

www.revelor.fr