

« Notre mission première est de conserver et transmettre ces objets, notre patrimoine aux générations futures ! »

Interview de Madame MAJERUS - PARTIE III

Propos recueillis en février 2021 par Blandine, Manon et Nathanaël pour Le Cercle

Le Cercle : Nous revoici avec Madame Majérus pour cette dernière partie. Vous nous disiez qu'il y a 3 grandes missions dans le domaine des verres, et plus globalement des matériaux, du patrimoine. Pourriez-vous nous en dire plus ?

O.M. : Oui, en effet, il y a 3 grandes missions de la chimie dans ce domaine-là. Voici ma hiérarchie personnelle.

La **mission première est d'utiliser les méthodes et les connaissances de la chimie, donc de mettre nos connaissances au service de la conservation des objets du patrimoine.** Ce qui est intéressant c'est qu'il y a toutes sortes d'objets ! On touche à des céramiques, des verres, -dont je suis spécialiste-, mais d'autres sont plutôt en archéométaballurgie, d'autres encore s'intéressent plus aux matières picturales donc plutôt dans la chimie moléculaire, ... et nous sommes tous dans la même équipe ! 😊

Tous les objets se dégradent ! Plus ou moins selon leur composition, microstructure, ... Sachez qu'il n'y a aucune matière parfaitement inerte, surtout que là, on est sur du très long terme. Et il faut essayer de ralentir leurs processus de dégradation. Pour cela, il faut bien les comprendre. Et c'est ce que je mets en numéro 1. Car **notre mission première est de conserver et transmettre ces objets, notre patrimoine aux générations futures.** Ce n'est pas à nous d'imposer comment il faut interpréter ces objets, - ils pourront toujours être

interprétés différemment -, mais il nous faut les leur transmettre, ça c'est sûr ! Par exemple, j'ai bien aimé travailler sur l'application d'un traitement industriel à la conservation des verres.



La deuxième mission est de **faire avancer la connaissance de ces objets des musées de France.** Cette structure du C2RMF, située au Louvre, est comme le Centre R&D pour les 1200 musées de France ! Ces objets ont une valeur artistique, à l'interprétation libre, mais aussi une valeur historique et technique : connaître comment ils ont été produits, quelles techniques de fabrication ont été mises en œuvre, ... Tout ceci nous permet d'essayer de répondre aux questions suivantes : comment, historiquement, les techniques ont été développées ? Où ont-elles été découvertes et mises au point ? Comment ont-elles été diffusées d'une civilisation à l'autre, dans le temps et dans l'espace ? Cela nous permet de comprendre les sociétés avant nous, les échanges entre elles qu'ils soient techniques, culturels, commerciaux, de matière... Tout ceci vient de la connaissance physico-chimique de ces objets-là ! Quelles étaient

les techniques de fabrication maîtrisées à l'époque ? Quelles étaient les matières premières utilisées pour produire ces objets ? On y a accès en allant « voir » les éléments traces qui nous informent sur les gisements servant de sources des matières premières. En effet, sur Terre, il y a plusieurs gisements pour un même élément chimique, mais ils ne vont pas avoir les mêmes éléments traces, donc on peut remonter aux sources puis aux chemins commerciaux comme cela. C'est ce que j'appelle améliorer la connaissance des objets et ceci requiert des techniques d'analyse non destructives, assez poussées. C'est une des missions intéressantes que j'ai un peu abordé dans l'étude sur Palissy mais dont je ne suis pas spécialiste.

Les verres du patrimoine

IR CP Institut de Recherche de Chimie Paris
CENTRE DE RECHERCHE ET DE RESTAURATION DES MUSÉES DE FRANCE

1. Conserver les objets : ralentir les processus de dégradation
2. Améliorer la connaissance des objets du patrimoine : techniques de fabrication, matières premières et chemins commerciaux...
3. Authentifier les objets : datation, techniques spécifiques

Remonter aux techniques de fabrication : confronter la caractérisation des objets réels avec des expériences en laboratoire

Décor : Phase vitreuse riche en fer et cristallisations



Image optique d'une section de décor

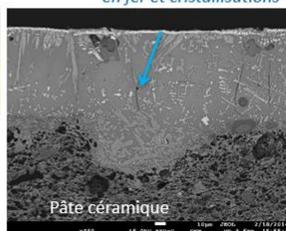


Image MEB

- 4000 BC : Céramiques de la nécropole de Suse (Mésopotamie – Iran) Parmi les premières céramiques à décor vitrifié ...

La troisième mission est **l'authentification d'objets**. C'est cette mission qui a donné lieu à ce que l'Etat, à travers le ministère de la Culture, finance cette structure au Louvre. En effet, le centre de recherche et de restauration des musées de France est un des trois laboratoires pilotés par le ministère de la Culture. Un autre centre, situé à Champ sur Marne, s'occupe du patrimoine bâti des monuments historiques et un troisième au Muséum d'Histoire Naturelle, au Jardin des Plantes, s'occupe des collections : les films photographiques et cinématographiques, les collections organiques, les spécimens : tout ce qui

est conservé dans du formol au niveau des sciences naturelles. Ce qui a motivé la création de ce genre de structures entre les deux guerres est de pouvoir authentifier les objets (et les monuments, les châteaux) acquis par l'Etat à travers ses Musées, de développer une expertise d'authentification. Car dès cette époque, et même avant, il y a un énorme marché mondial et frauduleux : le marché des faux. Et en valeur, il y a les armes, la drogue et celui-ci ! Le marché des faux dans l'art et le patrimoine représente beaucoup de valeur. Or si un musée achète 2 millions d'euros une pièce et que deux mois après on se rend compte que c'est un faux, ce sont 2 millions d'euros qui disparaissent, sont perdus ! Ce sont de **vrais investissements** avec l'argent public donc on veut pouvoir authentifier ce qui est acheté et cela fait travailler beaucoup de

monde, avec ici encore des techniques d'analyse in-situ, non destructives, poussées de la matière. Car c'est dans **la matière** qu'on va trouver notamment des **indices** de la datation mais pas seulement... **La matière imprime tout : son histoire mais aussi les techniques de fabrication et éventuellement les techniques propres de l'artiste**. Je ne travaille pas dedans mais authentifier est réellement un des aspects du Patrimoine qui a besoin de la chimie !

Voilà pour vous résumer un peu les trois missions de cette équipe et plus généralement des laboratoires qui travaillent dans le Patrimoine.

Nous avons entendu parler d'AGLAE. Pourriez-vous nous dire quelques mots dessus ?

AGLAE est l'accélérateur de particules du C2RMF, situé sous le jardin des Tuileries au Louvre. Il a un statut de « grand instrument » : les chercheurs du monde entier peuvent venir y faire leurs expériences si cela relève des thématiques du patrimoine. Pour cela ils déposent un projet (appelé « proposal ») et deux fois par an un jury sélectionne les projets et leur alloue du temps d'expérience sur AGLAE. Tous les « grands instruments » publics, comme les synchrotrons, fonctionnent comme cela. Une équipe de 4

ingénieurs fait fonctionner AGLAE presque 24 h sur 24 et assure l'accueil des chercheurs. Les chercheurs du C2RMF n'ont pas spécialement d'accès privilégié, ils doivent aussi déposer leur projet pour utiliser AGLAE.

Pour parler de « ce que fait AGLAE », interrogez Didier Gourier qui s'est occupé de la jouvence de l'instrument en 2017-2018 et en parle de manière passionnante ! En quelques mots, cet instrument envoie des particules chargées fortement accélérées sur l'objet (des protons ou des particules alpha). Ces particules interagissent de multiples façons avec la matière, et plusieurs détecteurs disposés autour du point d'impact récupèrent les rayonnements émis (fluorescence X, rayons gamma, particules rétro-diffusées, protons éjectés par les collisions...) et les analysent en énergie. A partir de ces multiples spectres, on obtient la composition chimique au point d'impact, avec une sensibilité qui permet de quantifier les éléments traces, et la localisation en profondeur de ces éléments, très importante pour étudier les phénomènes d'altération. Presque tous les objets peuvent être analysés directement sur AGLAE, sans les détruire (bien-sûr !) ni faire de prélèvement. Ce caractère « non invasif » associé à la sensibilité aux éléments trace en fait un instrument irremplaçable. Toutefois, certains objets comme les peintures et généralement l'organique peuvent être irréversiblement impactés par le faisceau de particules, et donc il faut étudier aussi cela et faire attention : c'est ce qu'on appelle « l'analyse responsable ».

Merci pour ces précisions ! Quels sont vos sujets actuels, vos projets et vos envies de recherche aujourd'hui ?

Avec Daniel Caurant, j'aimerais continuer à travailler sur l'altération atmosphérique des verres. Les verres sont des matériaux qui s'altèrent un peu plus que d'autres car ils sont fortement alcalins. Sur les images, vous voyez des objets du XVIIIème, provenant du Musée des Arts Décoratifs, qui ont été acquis pour leurs intérêts historiques et qui sont fortement dégradés. Dans les objets en verre historiques, qu'ils datent de l'Antiquité ou non, il y a 1/3 de ces objets qui se dégradent fortement ! Pour des raisons

qui sont mal comprises... Il y a là de la chimie et c'est un domaine que j'ai développé un peu plus personnellement.

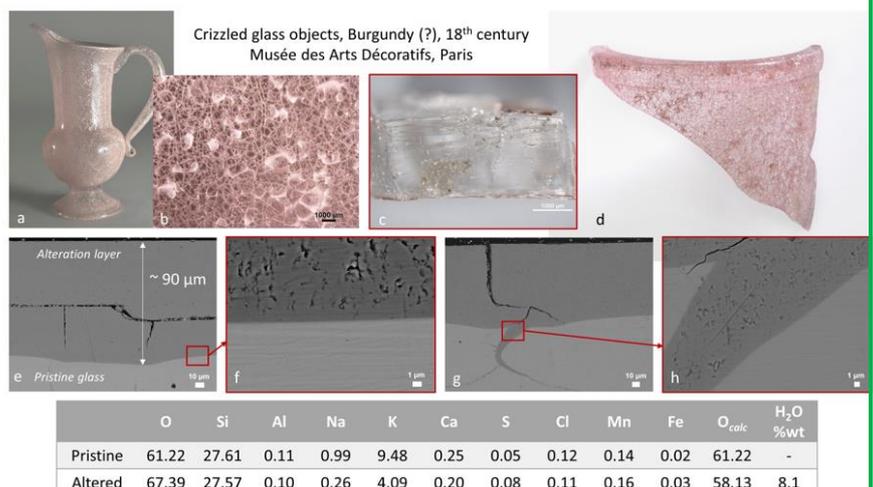
Conservation des verres du patrimoine

- Comprendre les mécanismes et les paramètres influençant l'altération du verre par l'atmosphère (eau, gaz acides : CO₂, SO₃...)
- Trouver des moyens efficaces de ralentir cette altération



Vous savez, on travaille sur de nombreux sujets en permanence mais on va piloter certains sujets plus que d'autres. On n'est jamais tout seul à traiter un sujet mais ça, c'était plutôt « mon sujet » dans le sens où je suis celle de nous deux, avec Daniel Caurant, qui ait le plus lu, proposé, dirigé les stages et qui m'intéresse beaucoup. Ces verres sont des silicates, alcalins, alcalino-terreux. En faisant varier de quelques % molaires la teneur en alcalino-terreux, on va passer d'un verre qui ne va pas se dégrader ou très peu à un verre qui va beaucoup se dégrader ! De plus, on n'a pas le même effet si c'est du calcium ou du magnésium ! Et ceci n'est pas du

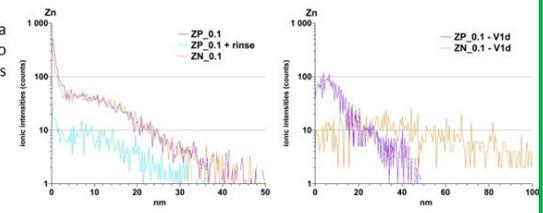
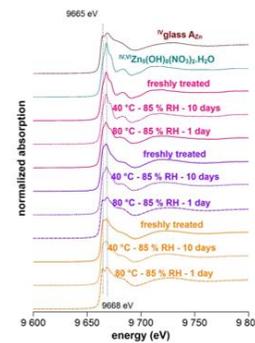
Caractériser la pellicule d'altération des objets réels : composition chimique, microstructure, présence de sels...



tout compris ! C'est lié à la structure du réseau silicaté. Certaines compositions vont retenir les alcalins fortement, ce qui n'est pas bon pour la stabilité du verre hydraté, et d'autres compositions vont permettre aux alcalins de « partir » vers la surface où ils vont pouvoir précipiter sous forme de sel et ceci est stabilisant. Or, on ne comprend pas pourquoi !

Quelle est l'origine de la passivation obtenue avec les sels de zinc ?

Etude de la pénétration des ions Zn^{2+} dans la sub-surface du verre par TOF-SIMS (spectro de masse d'ions secondaires émis sous faisceau ionique)

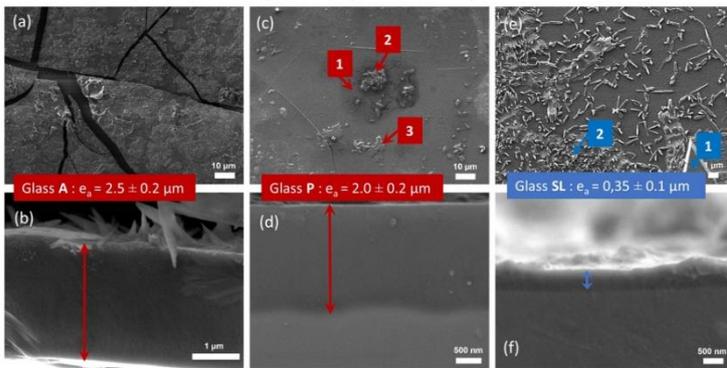


Etude de la spéciation des ions Zn^{2+} par spectroscopie d'absorption des rayons X au seuil K du Zn en incidence rasante, au synchrotron

Bilan (simplifié): les ions Zn^{2+} s'insèrent dans le réseau silicaté en formant des liaison Zn-O-Si difficilement hydrolysables, qui ralentissent la diffusion de l'eau vers l'intérieur du verre

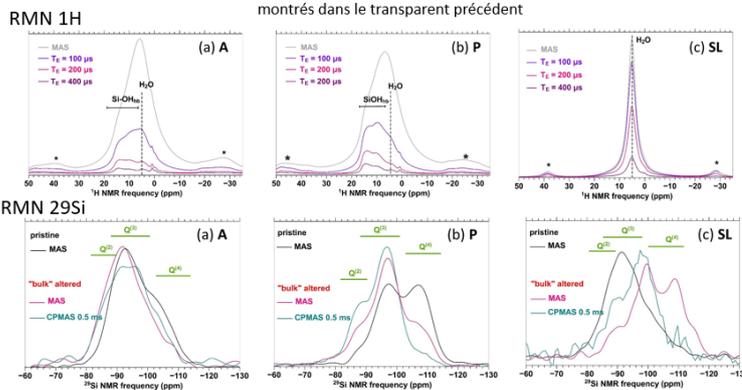
Quelques illustrations des recherches

Vieillir artificiellement des verres modèles en enceinte climatique et étudier leur évolution (croissance de la pellicule hydratée, sels ...)



Utiliser les spectroscopies (ci-dessous la RMN du 1H et du 29Si) pour identifier les espèces hydratées pouvant stabiliser ou déstabiliser la pellicule d'altération

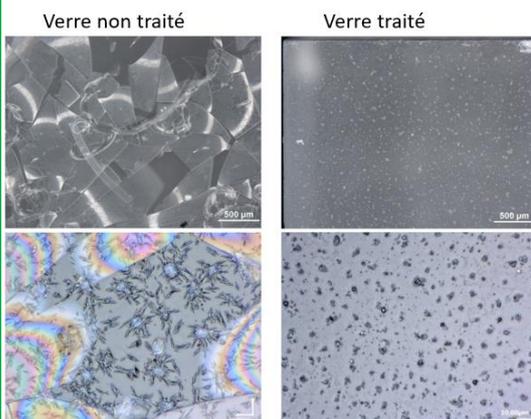
Structure par RMN des pellicules hydratées des 3 verres modèles montrés dans le transparent précédent



J'aimerais bien faire une recherche pour comprendre ces effets de composition sur l'altération atmosphérique, en travaillant avec des compositions modèles qui permettraient de comprendre, et non pas sur des verres du Patrimoine. Ces derniers nous ont permis d'observer les phénomènes mais pour comprendre les processus chimiques, il nous faut faire des verres modèles avec des paramètres de compositions chimiques qui varient systématiquement: par exemple la teneur en alcalino-terreux par rapport aux alcalins, etc.

Or, je ne sais pas comment je vais pouvoir financer ce sujet de thèse car c'est du fondamental donc cela intéresse moins mes collègues du C2RMF plus préoccupés par des choses plus concrètes. Donc vous voyez, on est parfois un peu frustré. En effet, dans le cas d'un sujet fondamental comme celui-ci, cela semble dur d'obtenir un financement pour cette thèse car nous sommes en concurrence avec les collègues, -même si on les aime beaucoup (rires)-, pour obtenir des financements publics d'écoles doctorales. Mais c'est mon petit espoir pour ce projet qui serait à moyen terme !

Etude d'un traitement de verre par les sels de zinc et de ses mécanismes de passivation



Vieillessement 3 j à 80°C et 85 % RH

- S'inspire d'un traitement connu et pratiqué empiriquement dans l'industrie
- Pulvérisation par spray d'une solution alcoolique de sels de zinc
- Ralentissement net de l'altération mais différencié selon la composition du verre

A très court terme, nous avons trois thèses en cours ou qui démarrent... [N.D.L.R. Pour en savoir plus : lisez le bonus Spécial Thèse en image ci-dessous 😊]

Une thèse CIFRE, financée par la bijouterie Van Cleefs, démarrera en septembre 2021, avec une étudiante de CP que vous connaissez peut-être : Aziliz Le Bescond de Coatpont, qui a commencé son stage et va poursuivre en thèse. Ce sujet est

actuel : il concerne la substitution du plomb dans les émaux basse température utilisés pour décorer la porcelaine ou dans les bijoux. Ces émaux sont très riches en plomb car l'oxyde de plomb est un fondant puissant mais il est toxique ! [N.D.L.R. : *Un fondant est une matière susceptible d'abaisser la température de fusion d'une pâte céramique ou d'un verre. Il a donc un impact notable sur le produit final obtenu et ses propriétés physico-chimiques. Source : Larousse*] Donc il faut le substituer pour répondre aux réglementations comme REACH. La problématique est donc assez fondamentale : comment faire pour enlever ce fondant puissant qui permet d'avoir des émaux qui fondent à basse température donc vont pouvoir être déposés sur différents substrats (avantage important !) ? Va-t-on obtenir d'aussi jolies couleurs avec des matrices sans plomb ?

Nous avons aussi un **sujet** actuel sur **l'altération des verres, avec Saint Gobain**. Cette thèse fait suite à nos travaux sur la dégradation atmosphérique des verres du patrimoine pour lesquels nous avons publié et communiqué ; - c'est aussi notre mission de diffuser à travers des conférences-. Nous avons été sollicités par le centre R&D de St Gobain à Aubervilliers, entreprise spécialisée dans la production de matériaux pour le bâtiment en particulier les verres. Sur les vitrages, il y a des couches de fonctionnalisation des vitrages (ex des couches de contrôle solaire qui vont réfléchir les IR), or, pendant le stockage et le transport avant le dépôt des couches, les verres se dégradent ils se dégradent sous l'effet de l'eau atmosphérique. En effet, du fait qu'ils sont assez riches en alcalins qui aiment s'entourer d'eau, **les verres se comportent un peu comme un savon inorganique !** Les verres s'hydratent, se carbonatent, et ceci est très mauvais quand on veut déposer par la suite des dépôts car la surface est alors dégradée. Il y a des problèmes de démouillage qui posent des soucis pour l'entreprise dont on essaye de comprendre la cause.

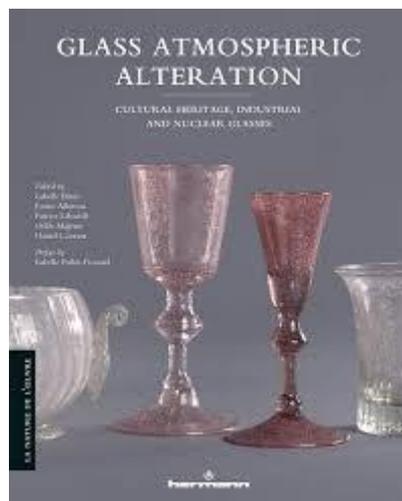
L.C. : Merci beaucoup ! Nous invitons nos lecteurs à aller voir le BONUS pour en savoir plus sur le fonctionnement d'une thèse, les interactions entre l'équipe de recherche et le doctorant.

Avant de conclure cette interview, quelques dernières questions plus tournées vers l'école... Quel est votre meilleur souvenir lié à l'école, à Chimie Paris ?

O.M. : D'un point de vue humain, mes meilleurs souvenirs sont les **repas de Noël au labo**. Il y a des musiciens, des chants, souvent des raclettes. C'est très convivial, on est réunis, tous ensemble, dans un cadre autre que celui habituel. C'est à ces moments-là que l'on sent qu'on fait partie d'une **grande famille**. Il y a des collègues que je connais maintenant depuis très longtemps. Mais au quotidien, on parle surtout boulot avec peu de moments de détente. En effet, avec les deux activités en parallèle (enseignement et recherche) on est toujours dans un rush... Et ces repas de Noël font partie des **moments marquants où les liens se construisent vraiment en dehors du travail**. Et, avec les collègues, on se sent reliés par ces moments-là !

Au niveau de la recherche, **mon meilleur souvenir est l'organisation d'un colloque international sur le problème de la dégradation des verres**. A la fin de ce colloque, nous avons même pu rédiger un beau livre "**Glass Atmospheric Alteration**" avec de la Science et de belles images de verres du Patrimoine, c'était un beau moment de partage de connaissance avec des personnes du monde entier : des américains, des grecs, des allemands étaient présents ! Voir ces personnes de pays différents, dont certaines ont eu du mal à trouver un financement pour venir, discuter ensemble était extraordinaire ! Et la publication du livre à la fin du colloque a été une **grande fierté**. C'est important

de publier à la fin car il faut qu'il en reste quelque chose, pour l'Humanité si on prend les grands mots 😊 !



Un ouvrage est disponible à la bibliothèque de Chimie Paris.

Pour en savoir plus :

<https://www.chimieparistech.psl.eu/ecole/actualites/parution-de-glass-atmospheric-alteration-de-la-chimie-pour-la-conservation-du-patrimoine/>

L.C. : Aimeriez-vous rajouter quelque chose, sur votre rôle d'enseignant-chercheur par exemple ?

O.M. : La dimension de l'enseignement est très importante ! Personnellement, j'aime beaucoup voir les étudiants apprendre de nouvelles choses et découvrir de nouveaux concepts. Avoir contact avec vous, vos questions, votre intérêt, votre dynamisme, votre écoute, ce qui vous intéresse est vraiment très riche !

Et puis, vous voir entre vous nous permet de rester jeunes très longtemps ! (*Rires*) Vous êtes un reflet de la société et c'est intéressant de voir à qui on transmet ! Vous êtes des adultes mais avec des côtés encore un peu enfantins, et vous voir découvrir de nouvelles choses, à travers nous, est très agréable ! Cela nous permet de rester dans la fraîcheur. J'adore les TP, reprendre avec vous la mécanique quantique... Vous l'avez compris, je n'en fais plus tellement au quotidien, -on l'utilise mais on n'en fait plus sur papier comme en TD -, mais j'aime vraiment donner ces TD qui me permettent de rester reliée au concept, au sens profond. L'activité d'enseignement est ainsi une partie que j'apprécie vraiment !

L.C. : Si nous ne disons pas de bêtises, Monsieur Gourier a été votre professeur avant de devenir votre collègue ?!

Oui, c'est ça ! Je me souviens de lui avoir posé des questions, - une ou deux car j'étais timide-, et de ses réponses. Si vous ne le saviez pas, **il est dans sa dernière année et sera en retraite au mois d'août.**

[Exclamation de surprise du Cercle. SCOOP !]

Ah oui, je pense qu'il a marqué beaucoup de monde, notamment car il est très vivant et par sa manière d'expliquer et ses illustrations concrètes ! Il se met vraiment à notre niveau ! Moi, j'étais à l'école il y a 20 ans finalement, et cela faisait déjà peut-être 15 ans qu'il était comme ça. Et c'est vrai

aussi au labo aujourd'hui quand il explique quelque chose sur les transitions électroniques, tout ce qui touche aux électrons, aux techniques spectroscopiques. Il nous explique comme à vous, en rendant tout de suite les choses très concrètes et c'est génial !

Vous savez, pour un enseignant chercheur, **il faut beaucoup d'années derrière soi pour avoir vu suffisamment de choses pour raconter des histoires et être suffisamment concret !** Cela ne vient pas tout de suite ! Il faut avoir vu ces concepts mis en pratique, voir ce qui intéresse les étudiants, et ce n'est pas toujours facile. Il faut de l'expérience, voire des années pour être concret !

Pour en revenir à Monsieur Gourier, il a demandé l'éméritat et **va devenir professeur émérite** (comme Monsieur Morvan). Il restera intégré dans les personnels du labo, ce qui lui permettra de continuer à participer aux réunions, à s'impliquer dans les recherches. Je pense qu'il ne pourra plus encadrer de thèse mais sera dans l'équipe pendant quelques années. C'est du volontariat, pour les professeurs qui le demandent.

L.C. : Pour conclure, avez-vous un dernier mot à transmettre aux étudiants ?

O.M. : En pensant à Didier, je me rappelle ce qu'il avait dit lors d'un discours de remise de diplôme, je crois et qui m'avait marqué... **Vous avez un bon bagage scientifique, vous êtes généraliste mais vous êtes formés en chimie. Vous êtes capables d'aborder beaucoup de sujets différents, afin de faire des métiers et des carrières très diverses.** Je pense qu'il est un peu enthousiaste et que certains domaines ne peuvent être abordés par notre formation mais c'est vrai qu'elle permet de faire beaucoup de choses et d'autres métiers (management, support, stratégie...). **Mais gardez à l'esprit que peu importe le chemin que vous prenez, vous serez toujours des chimistes !**

Vous voyez, j'étais allée faire de la physique mais je suis revenue à la chimie. Derrière, il y a cette idée importante de **savoir**, ou d'essayer de savoir, **qui vous êtes, votre histoire, ce dont vous avez envie, quelles sont vos valeurs, ...** Cela permettra de toujours être en contact avec qui vous êtes et de

vous dégager des influences externes, de s'affranchir des modèles, de carrière et de réussite sociale par exemple, imposés par la société et qu'il faudra changer si on veut résoudre les problématiques actuelles de changement climatique notamment. C'est un exemple.

Par ailleurs, le travail, nous y passons énormément de temps, 8 à 10 h par jour, et ça nous occupe aussi parfois la nuit. Il faut donc que ça soit compatible, en cohérence avec nos valeurs et **c'est donc s'interroger sur ses valeurs, mettre à distance les modèles, lire, que ce soient des romans, de la philo, des journaux...**

Pour finir, dernier message... La période actuelle est inédite ; voire dramatique dans certains secteurs... On sent que c'est dur aussi pour vous, même si vous êtes des étudiants aguerris dans de bonnes conditions d'étude, mais durant les TD et cette semaine de TP avec les deuxièmes années,

tous les élèves étaient à fond, ont montré de la motivation, du dynamisme, de la curiosité, de l'intérêt... et c'était super ! Alors, j'aimerais vous dire **bravo pour votre résilience, votre façon de vous accommoder, d'intégrer ça de manière assez positive, votre ténacité dans cette période difficile** ! Et bon courage pour la suite !

L.C. : Merci pour votre message ! Oui, vivement que cette période se termine.

En tous cas, un très grand merci, Madame Majérus, pour cet échange très riche ! En cadeau, chers lecteurs, vous trouverez les références de deux articles scientifiques qui vous permettront d'aller encore un peu plus loin... Puis place au BONUS tourné vers les THESES avant un prochain Parlons Sciences qui y sera totalement dédié.

Références de deux articles scientifiques pour approfondir.

➤ Sur l'altération atmosphérique des verres :

Majérus, O., Lehuédé, P., Biron, I. *et al.* Glass alteration in atmospheric conditions: crossing perspectives from cultural heritage, glass industry, and nuclear waste management. *npj Mater Degrad* **4**, 27 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41529-020-00130-9>.

Article en Open Access disponible à : <https://www.nature.com/articles/s41529-020-00130-9>

➤ Sur les verres de confinement des déchets nucléaires :

Caurant, Daniel and Majérus, Odile (2021) Glasses and Glass-Ceramics for Nuclear Waste Immobilization. In: Pomeroy, M. (ed) Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses, vol. 2, pp. 762–790. Oxford: Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-818542-1.00090-4>

Accessible à (Lien OneDrive) :

https://univpsl-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/odile_majerus_chimieparistech_psl_eu/EXTE0Ur76fZAskFCbMcmrgYBxnKhzWELymqusJpV8Db1JQ?e=SpV0Vd



Merci de nous avoir suivi tout au long de ces 3 épisodes ! Nous espérons vous retrouver prochainement pour un Parlons Sciences Spécial THESES avec deux jeunes chercheuses de Chimie Paris.

**Belle découverte du bonus, comme un apéritif à notre prochaine interview !
Cerclement vôtre,**

**L'association de vulgarisation scientifique
de Chimie ParisTech - PSL, Le Cercle**



BONUS sur les thèses en cours ou à venir.



FOCUS sur les interactions entre les chercheurs et les thésards. Mode de fonctionnement.

« C'est à géométrie variable mais il y a quand même des constantes. Dans les labos, il y a des enseignants-chercheurs, des chercheurs, des doctorants, des post-doctorants et des ingénieurs de recherche et des ingénieurs d'étude.

Concernant les sujets de thèses, il y a des projets à courts termes (ex : thèse avec la bijouterie Van Cleef & Arpels) ...



Substitution du plomb dans les émaux de « petit feu » sur porcelaine
Stage et thèse CIFRE Van Cleef & Arpels et Manufacture de Sèvres, 2021-2024

PbO est un fondant puissant et un agent important de la couleur de ces émaux, mais il est toxique. Comment le substituer ?

Si ça vous intéresse, contactez Aziliz (#Swiffer), elle pourra vous en dire plus 😊

• Directives Richemont Product & Trade Compliance

"By april 2020 each new product should comply with the Product Restricted Substance List, PRSL, and a declaration of conformity should be signed by the Maison designated person.

Furthermore, each Maison should be able to prove, upon request, that its products are compliant to the PRSL"

• Product Restricted Substance List

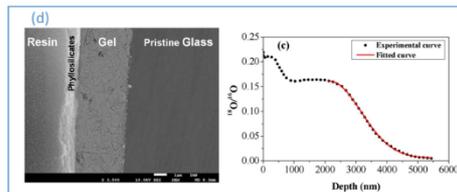
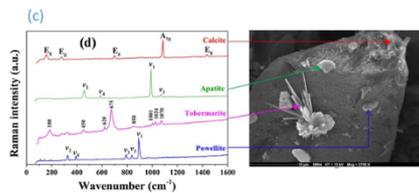
- Cadmium < 100 mg/kg
- Plomb < 90 mg/kg

Effets de l'irradiation aux ions lourds sur l'altération atmosphérique de verres borosilicatés modèles des verres de confinement

Thèse CEA & CNRS, 2021-2024

- Le verre nucléaire sera soumis à une longue période d'altération en phase atmosphérique, avant restauration par l'eau du site d'enfouissement
- Pendant cette période, le verre sera fortement irradiant
- Quelle est la conséquence de cette irradiation sur les processus et la cinétique de l'altération ?

Vapor hydration of SON68 glass
From 35°C to 125°C and 92 %RH to 98 %RH⁶²



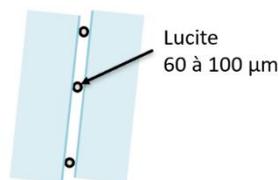
Et d'autres plutôt à moyen terme, sur l'altération des verres par exemple. Un thésard est placé plutôt sur un travail expérimental où il va manipuler et apprendre à utiliser les outils. Bien, sûr, on s'adapte au profil des doctorants (certains aiment plus ou moins lire par ex.) comme dans les équipes. C'est un métier humain ! »

🔗 Thèses en cours & à venir 🔗

Réactivité de la surface d'un verre silico-sodocalcique en fonction de sa composition

Thèse CIFRE Saint Gobain Recherche
Amandine Serve 2020-2023

L'altération atmosphérique de certaines compositions de verre float pendant leur stockage conduit à des problèmes de démoillage des couches de fonctionnalisation. Pourquoi ?



Cohin & Urien SGR/CM –
YC-MU – N° 0467/15



Ce qu'il faut bien comprendre : pour traiter un sujet de recherche, une problématique, il y a une **partie expérimentale***, « de paillasse », durant laquelle on peut aller chez l'industriel récupérer des verres, synthétiser des verres modèles, les faire vieillir dans une enceinte climatique, les observer au microscope, au MEB (Microscope Electronique à Balayage), faire des observations et des analyses, etc... Elle représente $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$ du boulot. **L'interprétation et l'exploitation des résultats expérimentaux** compte aussi pour $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$ du travail et se fait en plusieurs étapes : tracés et examens

des spectres, superpositions... puis on va essayer de les modéliser, les « fitter », calibrer, quantifier (par exemple obtenir les teneurs en hydrogène), ... Et la dernière partie après avoir exploité et compris les résultats est de voir ce qu'ils apportent de nouveau par rapport à la littérature, donc cela requiert un gros travail de bibliographie. Ces trois parties sont distribuées sur l'ensemble des personnes du laboratoire. *Je parle bien-sûr des thèses expérimentales, il existe des thèses non expérimentales consacrées à la théorie ou aux outils et approches de la modélisation.

Les doctorants ont un rôle central : ce sont eux qui font la recherche expérimentale. Dans un premier temps ils sont formés par les uns et les autres selon les domaines de compétences. Par exemple, je ne sais pas faire fonctionner certaines machines mais je sais en faire fonctionner d'autres. 😊 La (ou le) doctorant se forme sur tous les instruments dont elle a besoin et produit ses résultats expérimentaux. Ensuite, il y a l'étape d'analyse des résultats. Cette partie est prise en charge par les doctorants qui en font une partie, et les encadrants proches. C'est à cette étape qu'on a des réunions multiples, à 2, à 4, avec l'industriel, avec des experts d'autres labos, etc... où les résultats peuvent être discutés, la technique utilisée peut être remise en question, on va alors se renseigner, faire de la biblio, contacter d'autres personnes. On fait un peu de la gestion de projets, voyez-vous !

Personnellement, je ne fais plus d'expérience moi-même, seule, car je n'ai plus le temps de dérouler tout le processus, car on a de nombreux projets à côté ainsi que l'activité d'enseignement. Ce sont donc toujours doctorants ou stagiaires qui produisent les résultats expérimentaux, et je peux les assister à ce moment-là. Ensuite, en équipe, on réfléchit dessus. De mon côté, je lis la bibliographie et m'occupe de l'écriture et la mise en forme des articles. C'est un long travail ! Dans le cadre d'une thèse, il y a souvent 2 ou 3 articles publiés (parfois après la fin de la thèse) et on demande souvent au doctorant de rédiger 1 article. J'ai donc plutôt un rôle d'encadrement, d'accompagnement. **Pour résumer, c'est un travail d'équipe !!! La recherche n'est jamais individuelle ! Elle réunit un doctorant, une équipe d'encadrement, et de nombreuses personnes qui apportent leur aide ou leur expertise à un moment ou à un autre... »**

Un travail d'équipe !!!

La recherche n'est jamais individuelle. Elle réunit un doctorant, une équipe d'encadrement, et de nombreuses personnes qui apportent leur aide ou leur expertise à un moment ou à un autre...

Doctorants : Arnaud Quintas, Magali Magnin, Nolwenn Chouard, Hélène Tregouet, Sophie Achigar, Fanny Alloteau, Gauthier Roisine, Amandine Serve...

Collègues de l'équipe PCMTH-IRCP : Daniel Caurant, Gilles Wallez, Laurent Binet, Didier Gourier, Nadia Touati, Sylviane Chevreux, Jean-François Engrand, Patrick Aschehoug...

Collègues de l'équipe PCMTH-C2RMF : Patrice Lehuédé, Isabelle Biron, Anne Bouquillon, Christel Doublet, ...

Collègues du CEA : Olivier Pinet, Jean-Luc Dussossoy, Frédéric Angeli, Stéphane Gin, Sylvain Peugot, Elise Régner...

Collègues de Saint-Gobain Recherche : Sophie Papin, Hervé Montignaud, Marie-Hélène Chopinet, Jean-Marc Berquier...

IR
CP Institut
de Recherche
de Chimie Paris

CENTRE DE
RECHERCHE
ET DE
RESTAURATION
DES MUSÉES
DE FRANCE



Chimie Paris
ParisTech

PSL
RESEARCH
UNIVERSITY