

**RENCONTRES
MATÉRIAUX
ET SOCIÉTÉ
2022**

SF2M

Société Française
de Métallurgie et de Matériaux



**Choix raisonné
des matériaux**

15 DÉCEMBRE

Paris, Maison de la Chimie

*Conférences, Tables rondes,
Remise des médailles*

Compte-Rendu





Cycle "Rencontres Matériaux et Société" Choix Raisonné des Matériaux 15 décembre 2022

Dans la lignée de la Journée Exceptionnelle de 2021

La Société Française de Métallurgie et de Matériaux a organisé le 15 décembre 2022 la 1^{ère} Rencontre Matériaux et Société, sur le thème du « Choix Raisonné des Matériaux », amorçant ainsi un cycle annuel qui s'inscrit dans la continuité de son livre blanc « Les Matériaux au cœur des enjeux stratégiques Post COVID ». Le choix de cette problématique est d'actualité encore plus brûlante dans le contexte géopolitique actuel qui rend essentielle la nécessité d'affirmer l'indépendance de nos stratégies industrielles, énergétiques, de la défense et celle relevant des ressources en matières premières. Outre la mise à l'honneur de deux personnalités marquantes de la métallurgie et de la science des matériaux (les professeurs Heinz Voggenreiter, Membre d'Honneur, et Yves Bienvenu, Grande Médaille), la journée a permis de distinguer des personnalités juniors et seniors via la remise des divers prix et médailles de la SF2M. Divers académiques et industriels ont planché sur la notion de « **Choix Raisonné des Matériaux** » lors d'une première table ronde, apportant leur expérience et leur vision de cette problématique. Une deuxième table ronde, réunissant les médaillés juniors, a permis à de jeunes chercheurs d'exprimer comment ils se plaçaient par rapport à ce choix raisonné des matériaux. La journée a été clôturée par une synthèse du Président, Bruno Chenal. Les lignes qui suivent rassemblent les principales contributions et échanges fructueux de cette journée exceptionnelle qui, d'un avis général, a de nouveau été un succès.

Les Matériaux au cœur de l'évolution des sociétés : le mot du Président

La journée a été inaugurée par le Président, Bruno Chenal, avec une introduction rapide qui retrace l'histoire des matériaux et l'évolution corrélée des sociétés. Les matériaux et notre vie de tous les jours sont tellement intriquées que les matériaux en deviennent invisibles ; mais les matériaux sont partout, ils constituent les objets du quotidien, nos moyens de transport et de communication, sont le support de tous les dispositifs de production d'énergie et les processus industriels. L'innovation dans le domaine des matériaux est la clé des challenges et des transitions auxquels nous devons faire face.

Le Président a ensuite présenté Matthieu Rouault, journaliste scientifique, en charge de l'animation de cette journée, ouverte à tous ; ce dernier a introduit les deux conférences plénières, de notre Membre d'Honneur 2023 et de notre Grande Médaille, respectivement les professeurs Voggenreiter et Bienvenu, ainsi que les deux tables rondes dont les intervenants sont des acteurs académiques ou industriels de l'énergie, du recyclage, de l'électronique et des transports.

Le numérique va-t-il révolutionner le développement des matériaux ? (prof Heinz Voggenreiter)

Après une présentation rapide du DLR (*Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt*), le professeur Voggenreiter décrit sa vision des challenges à venir pour répondre aux besoins des diverses transitions auxquelles nous sommes confrontés : favoriser les cycles d'innovation courts guidés par l'application, diminuer les coûts de développement, en diminuer les risques et augmenter qualité et fiabilité. Cela passe par des simulations plus rapides et plus fiables, plus fidèles (DFT, Calphad, ab initio, corrélation linéaire...) des processus thermodynamiques, des essais mécaniques, de la propagation des fissures. Cette approche est limitée par la puissance de calcul actuelle, mais la venue d'ordinateurs quantiques (QC : *Quantum Computing*) ainsi que la parallélisation (*parallel processing*) couplée à la DFT devrait permettre ce saut numérique. En particulier, on devrait pouvoir explorer par QC les possibilités d'alliages avec un nombre accru d'éléments à partir de la classification périodique (exemple de nouveaux alliages d'aluminium avec 10 éléments d'alliage).

Le professeur Voggenreiter évoque aussi la recherche et l'utilisation de modèles récurrents et de structures locales via les mégadonnées (big Data), et cite le projet QuantiCoM du DLR, avec l'*University of British Columbia*, pour l'utilisation du QC dans la recherche sur les matériaux. Il présente la mise en œuvre d'une chaîne automatisée complète d'essais mécaniques rapides, depuis la fabrication de l'éprouvette en impression 3D, sa préhension, son polissage et sa sollicitation mécanique par un robot, l'analyse de l'essai via l'analyse d'image et la mécanique de la rupture, et le changement d'échelle jusqu'à celle de la structure complète. Il évoque aussi l'analyse rapide des microstructures 3D par réseaux de neurone et « *machine learning* » couplés à un synchrotron.

Il conclut en exprimant sa conviction qu'il faudra intégrer tous ces nouveaux champs numériques et disciplines dans un management unifié avec un langage commun, qui ouvrira une nouvelle façon de coopérer pour notre communauté. Dans cette démarche, il est essentiel de continuer à introduire des modèles physiques afin de ne pas perdre la nature des phénomènes, et de ne pas exclure d'autres approches très efficaces, comme ceux venant d'algorithmes de segmentation très efficaces et très peu consommateurs de temps machine, au contraire du « *machine learning* ».

(Biographie du prof Heinz Voggenreiter : <https://sf2m.fr/medailles/O1-membre-dhonneur/>)

Une vie au service des matériaux ? *(prof Yves Bienvenu)*

La contribution d'Yves Bienvenu, récipiendaire de la Grande Médaille Henry Le Chatelier, fut beaucoup plus personnelle, évoquant avec moult détails la richesse de son parcours, depuis les bancs de l'Ecole Centrale Paris et Carnegie-Mellon jusqu'à l'Ecole des Mines, en passant par l'ONERA et l'IRSID. Issu lui-même d'une famille d'ingénieurs métallurgistes, Il a côtoyé les plus grands métallurgistes, comme André Rist, Claude Lupis, Jim Langer, Gilles Pomey.

S'il a touché à peu près tous les métaux possibles, c'est au travers de leur élaboration, de leur mise en forme à chaud et de leur transformation à l'état solide, puis plus tard de leur frittage et de la métallurgie des poudres, tout en tenant pour essentielle l'observation systématique des microstructures au microscope, qu'il a apporté des contributions majeures. Il a ainsi exploré les alliages ferreux, bien sûr, mais aussi les Sn-Pb, les Zn-Cu et Cd-Cu, Zn-Ag et Cd-Ag, les Al-Cu, la fonte qu'il a contribué à désulfurer. Quand il remplace Gérard Lesoult au Centre des Matériaux de l'Ecole des Mines de Paris, alors dirigé par Gilles Pomey, il s'attaque à la mise au point de divers alliages pour le moteur du futur Rafale, le M88, par la métallurgie des poudres, et maintient les études de solidification dirigée qui étaient une parade possible au fluage des superalliages sollicités à haute température.

Il s'oriente ensuite vers des applications plus fonctionnelles, faisant appel à la conductibilité électrique, en développant des matériaux composites (par exemple : aluminium – fibres de carbone) à forte tenue au fluage et faible CET. Il s'attaque à la mise au point d'assemblages multi-matériaux via différentes techniques comme le soudage par points, le soudage par friction, le co-laminage pour des applications très diversifiées, et contribue au développement des mousses de nickel, matériaux d'intérêt pour les électrodes de batteries ou autres piles à combustible, mais aussi comme absorbeurs de chocs ou filtres à particules. Le dernier procédé qu'il étudie est la fabrication additive par fusion au laser d'un lit de poudre. En parallèle à cette activité de recherche foisonnante, Yves bienvenu enseigne la métallurgie, la thermodynamique, la sidérurgie, les procédés de mise en forme.

(Biographie du prof Yves Bienvenu : <https://sf2m.fr/medailles/O2-grande-medaille/>)

Table Ronde 1 : Choix raisonné des matériaux

(Gildas Bureau/Stellantis, Frédéric Schuster/CEA, Denis Bortzmeyer/Arkema, Luc Salvo/INP-Grenoble, Philippe Guesdon/ArcelorMittal)

Le panel de personnalités, venant de l'industrie ou du secteur académique, avait à cerner les contours de ce choix raisonné des matériaux, chacun dans leur périmètre, en tachant d'identifier qui fait le choix, selon quels critères intrinsèques et extrinsèques, et pour quelles solutions et futurs challenges.

Pour Luc Salvo, il y a toujours eu un choix rationnel des matériaux dans le monde industriel, dicté par l'application, même si des effets de mode ont pu interférer. Mais ce qui est nouveau, c'est l'intégration de diverses considérations, dont quelques-unes peuvent paraître antagonistes (cycle de vie, sécurité, environnement, éthique...).

Pour Gildas Bureau, l'approche est à 360°, et le matériau ne doit pas être dissocié de son procédé. Le matériau doit être choisi en fonction de son QCDPE (Qualité, Coût matériau et technologie, Délai de mise en œuvre et dynamique, Prestation matériau, Environnement et impact amont et aval et compromis).

Pour Denis Bortzmeyer, les solutions Arkema oscillent entre le court et le long terme ; la prise en compte de l'expression, de la compréhension de la demande du client (automobile, peinture, santé...) et le développement de nouveaux matériaux à façon doivent être croisés avec une vision *corporate*, structurée en plateformes, et s'inscrire dans une problématique sociétale et de développement durable forte.

Pour Philippe Guesdon, ArcelorMittal anime un méta-programme de nouvelle mobilité sur 2 à 3 ans, pour chercher à définir les axes de recherche à développer à partir de grandes tendances sur l'utilisation de l'acier. La vision doit être transversale et le besoin du client reste à l'origine du choix du matériau.

Pour Frédéric Schuster, faire un choix raisonné relève d'une analyse multicritère (indépendance, écoconception, recyclabilité, matériaux et nouveaux procédés), finalement pas très différente du QCDPE présenté plus haut. On doit revisiter les procédés, systématiser le 3D, faire un maximum de veille technologique active et être très présent sur les salons pour rester en phase avec l'évolution rapide des techniques expérimentales et numériques, pour faire le « bon choix ». Les procédés « meurent-ils » ? Certaines modes peuvent perdurer (par exemple : les nanomatériaux !). Mais il reste encore des problèmes de convergence pour le 3D entre les matériaux réels et l'approche numérique.

Pour Luc Salvo, prenant exemple sur les mousses métalliques, qui ont eu une période de gloire avant de tomber dans l'oubli, pour renaître de nouveau de façon spectaculaire avec le 3D, les modes peuvent avoir des comportements imprévisibles. Le choix des matériaux a été formalisé de façon rationnelle via les diagrammes d'Ashby il y a 3 décennies, mais ces derniers ne sont pas systématiquement utilisés au quotidien dans l'industrie, par exemple chez Stellantis et ArcelorMittal, car requérant souvent trop de compromis. Les procédés nouveaux, comme la Fabrication Additive, ne sont pas prévus sur les cartes d'Ashby, qu'il conviendrait de compléter. En creux, ces cartes sont aussi très utiles pour identifier les domaines où les matériaux sont manquants.

En opposition au choix raisonné, Denis Bortzmeyer évoque un choix d'Arkema qui s'est révélé mauvais a posteriori : les bateaux en polyester, non recyclables. Gildas Bureau donne l'exemple des écrans tactiles chez Stellantis, pour lesquels les usages changent (présence de boutons, ou non, abandon par certains constructeurs pour des dérives cognitives accidentogènes des conducteurs), parfois radicalement. Mais, pour Philippe Guesdon, la sécurité est un critère intouchable chez ArcelorMittal, même quand les usages évoluent. Les choix dépendent aussi des volumes, par exemple quand il s'agit de choisir soit l'aluminium, soit l'acier. Frédéric Schuster rappelle, en évoquant le PEPR Diadem, qu'il faut faire converger matériaux et digitalisation, structure et fonctionnel, simulation et Intelligence Artificielle.

Concernant l'impact environnemental de la production de matériaux (le contexte international amène à se poser la question de l'indépendance, et donc de l'éventuel rapatriement de certaines de nos industries de production), on cite que la production de 1 tonne d'acier implique l'émission de 2 tonnes de CO₂. Les décisions successives des différentes COP (*Conferences of the Parties*), fixant les objectifs climatiques mondiaux, imposent une baisse de 35 % de l'émission de CO₂ en 2030, pour atteindre le « zéro émission » de CO₂ à l'horizon 2050, ce qui va demander d'énormes investissements. L'utilisation de « scrap » et des fours électriques permet d'abaisser l'émission de CO₂ de 2 tonnes à 0,5 tonne. Mais le marché du « scrap » n'échappe pas à la loi du plus offrant, et ce dernier ne reste pas forcément en France (Stellantis), ce qui

nécessitera de produire de l'acier sans passer par les hauts-fourneaux, en réduisant le minerai de fer par du gaz naturel (GN).

Pour Gildas Bureau, les « matériaux verts » peuvent être compris comme étant ceux qui sont recyclables, comme l'aluminium et l'acier, de plus en plus de polymères, les matériaux biosourcés et les matériaux naturels, que l'on trouve de plus en plus dans les véhicules (par exemple : les ceps de vigne). La cible actuelle est d'utiliser 25 % de matériaux verts, pour atteindre 40 % en 2030. Pour Arkema, Denis Bortzmeyer évoque l'utilisation de matériaux biosourcés, ce qui remet en cause les procédés ; mais la démarche « verte » ne fait pas forcément appel aux matériaux biosourcés, par exemple pour les batteries où le passage des électrolytes liquides aux électrolytes solides permet de s'affranchir des solvants organiques.

Cette transition peut s'accompagner de réactions extrêmes des étudiants, comme l'explique Luc Salvo, et la présentation des cours doit être ajustée pour mettre en avant la composante « société » (*Matériaux et Société*, plutôt que *Métallurgie Classique* !). Cette prise de conscience est salutaire, mais ne devrait pas aller jusqu'au rejet de la technologie, qui reste un atout majeur pour les challenges qui nous font face.

Pour ce qui est de l'empreinte sociétale du développement des matériaux, tous les secteurs n'apparaissent pas au même niveau d'exigence. Les critères RSE sont maintenant systématiquement inclus dans les appels à projets (AAP) nationaux ou européens, et donnent de la visibilité sociétale. Pour Denis Bortzmeyer, Arkema doit faire face à une demande de visibilité relative au recyclage de la part des clients. Concernant ce dernier, la valorisation du recyclage intermédiaire (boucle courte) doit être privilégiée plutôt que de favoriser le seul recyclage après la vie de l'objet (boucle longue), ce qui nécessite la mise au point de bons indicateurs.

Pour conclure l'aspect « matériaux verts et recyclabilité » de cette table ronde, Frédéric Schuster présente brièvement le PEPR des stratégies nationales Recyclabilité, recyclage et réincorporation des matériaux recyclés. Ce programme systémique, en cours de lancement, est centré sur cinq matériaux utilisés quotidiennement : les plastiques, les matériaux composites, les textiles, les métaux stratégiques et les papiers/cartons, et des AAP seront lancés dans 2 ans. ArcelorMittal anticipe le passage à l'hydrogène, mais la demande en est gigantesque, ainsi que l'électricité verte nécessaire pour produire cet hydrogène (43 kWh/kg pour produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau), ce qui est un très gros challenge. Pour Arkema et Stellantis, l'idée est de remplacer les catalyseurs métalliques par des enzymes, moins rapides mais plus sélectifs, pour la fabrication et le recyclage, pour la modification des chaînes polymères par des couteaux biosourcés. Ces changements nécessitent la formation d'un grand nombre de jeunes.

Table Ronde 2 : Comment les jeunes se situent-ils ?

(Manas Upadhyay/Polytechnique, Simon Catteau/AscoMetal, Jacob Kennedy/IJL-Univ. de Lorraine, Isabelle Mouton/CEA-Saclay)

Ce fut au tour de nos 4 jeunes médaillés RIST 2022 d'évoquer la manière dont ce « choix raisonné des matériaux » résonne dans le contexte de leur jeune carrière professionnelle, dans leur univers de recherche actuel et futur.

La recherche de Simon Catteau vise à réduire les éléments d'alliages coûteux, en termes d'euros et d'émission de CO₂, dans les aciers, en particulier le nickel, très cher et soumis aux aléas boursiers dans un contexte international chaotique. Pour Isabelle Mouton, sa recherche tourne autour de la sonde atomique et des évolutions de la microstructure des gaines de combustible en Zircalloy. Jacob Kennedy étudie la solidification des lingots d'acier pour le nucléaire, et Manas Upadhyay l'impression 3D des alliages, et leur reproductibilité pour la réduction des déchets industriels.

Vulgariser implique de faire rentrer le public dans les labos, pour expliquer les complexités, pourquoi la recherche fondamentale est importante (Manas Upadhyay), expliquer qu'on ne peut pas tout explorer et

que parfois l'on fait trop de promesses, par exemple pour l'impression 3D (Jacob Kennedy) ; il faut arbitrer tout en se posant la question de qui doit faire ce choix (Simon Catteau) ! Il faut étudier les cycles de vie et identifier toutes les possibilités d'augmenter celle-ci, de diminuer les déchets, de réparer, de rénover (Manas Upadhyay), de trouver les nuances permettant par exemple de diminuer les cycles thermiques, favoriser les collaborations entre académiques et industriels via UMR, AAP, ERP etc ; la résonance avec le choix des matériaux opère via l'écologie et l'économie, mais le conservatisme des clients qui rechignent à changer de matériaux bloque la démarche raisonnée (Simon Catteau).

Parmi les deux approches historiques pour l'amélioration des aciers — via l'exploration du tableau périodique, et via les procédés —, c'est la seconde qui est aujourd'hui privilégiée, tout en dépendant cependant de l'application (Simon Catteau).

Pour nos jeunes scientifiques, la réussite serait de diminuer drastiquement les déchets par une approche mixte entre modélisation et expérimentation (Manas Upadhyay), de garantir une bonne préservation et durée de vie des matériaux (Jacob Kennedy), d'analyser les matériaux « chauds » (radioactifs) en sonde tomographique (Isabelle Mouton), et à l'heure où il y a beaucoup d'incertitudes sur l'automobile, aller chercher de nouvelles idées du marché, et ne pas juste suivre le mouvement vers les véhicules électriques.

Des médaillés seniors (Christian Masquelier / UPJV, Chévenard 2022, et Roland Logé / EPFL, Portevin 2022) conseillent à nos jeunes scientifiques de bien s'entourer, de travailler collectivement, de respecter les anciens, d'éprouver du plaisir afin de favoriser la créativité et ne pas se limiter à la compétition. Il faut rendre plus visible la recherche moderne sur les matériaux ; c'est une discipline post-bac, ce qui implique que beaucoup de gens n'ont aucune formation en matériaux et restent sur une vision à la Zola de cette discipline. La question du positionnement des chercheurs dans la société doit être posée. La communication est noyée dans un flux chaotique d'informations (Danièle Quantin), et la perception de la technologie est différente d'un pays à l'autre, peu appréciée en France au contraire de l'Allemagne, ce qui a des conséquences importantes sur l'appétence des jeunes pour les carrières scientifiques ; la vérité n'est pas immédiate et la recherche a une constante de temps longue (expérience de la COVID) (Jean-Hubert Schmitt).

Remise des Médailles et Prix de la SF2M

La présentation des médaillés est disponible sur le site de la SF2M, en suivant le lien :
<https://sf2m.fr/la-sf2m/prix-et-medailles-sf2m/>

Lien web

<https://sf2m.fr/events/choix-raisonne-des-materiaux/>

Lien Livre Blanc post-Covid

<https://sf2m.fr/livre-blanc/>

Contact

secretariat@sf2m.fr

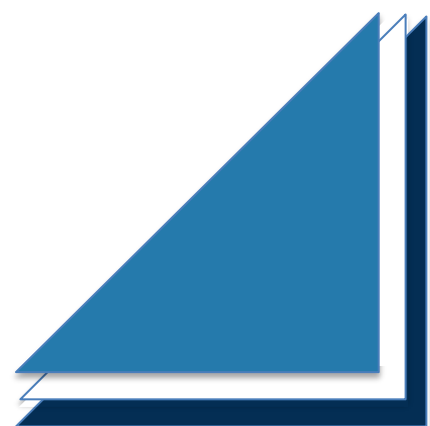






Table ronde

Choix raisonné des Matériaux (10h30-12h00)

Animation Mathieu Rouault

Stellantis – Gildas Bureau, Materials Senior Fellow

CEA – Frederic Schuster, Directeur de programmes Matériaux et Procédés

Arkema – Denis Bortzmeyer, R&D deputy Director

ArcelorMittal – Philippe Guesdon, New Mobility Metaprogram Leader

INP Grenoble – Pr Luc Salvo





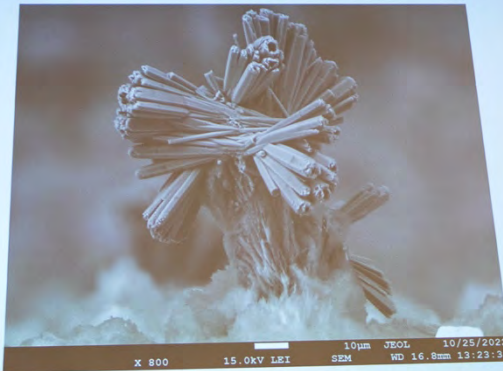




Prix JACQUET



Premier prix: Denis LAGADRILLERE, Arts & Métiers, Cluny
FEU D'ARTIFICE CRISTALLIN



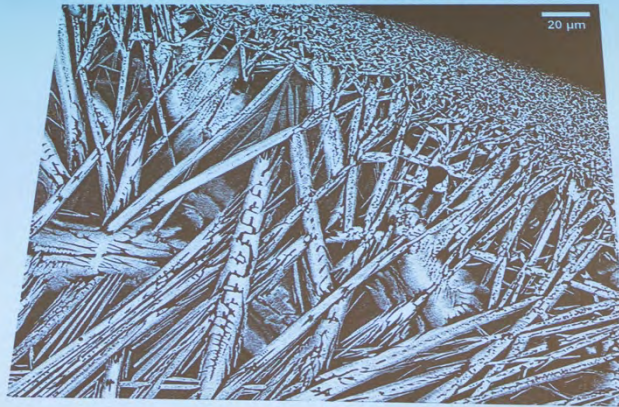
*Cristaux d'oxyde de zinc qui se sont développés dans des zones confinées d'un compteur d'eau en laiton CuZn39Pb2
Imagerie par microscope JEOL FEG 7610 F et grandissement x 800.*

Choix raisonné des Matériaux – Paris – 15 Décembre 2022



Prix JACQUET

Deuxième prix: Laurabelle GAUTIER, MATEIS - INSA Lyon
CHAMP DE BATAILLE CRISTALLIN



Zones cristallisées lors de la préparation des verres métalliques massifs base Ti
Micrographie obtenue au microscope électronique à balayage (Zeiss Supra 55) en électrons rétrodiffusés.
Choix raisonné des Matériaux – Paris – 15 Décembre 2022

