



# Les matériaux, au coeur des enjeux stratégiques Post covid

DEMAIN SE PRÉPARE AUJOURD'HUI

---

Fevrier 2021

## Les matériaux au cœur de l'innovation....

**La Société Française de Métallurgie et de Matériaux, SF2M, créée en janvier 1945, est une association scientifique à but non lucratif, d'intérêt général.** Elle réunit environ 1000 membres individuels (monde industriel et académique, France et aussi étranger) et 15 partenaires (groupes industriels ou fédérations).

La SF2M contribue à assurer le **rayonnement des Matériaux** (métaux, céramiques, polymères, composites) et leur attractivité dans la durée, dans le monde scientifique et industriel mais aussi vers le Grand public.

Elle participe à la **promotion des sciences et des techniques des matériaux**, en les replaçant au cœur de l'innovation comme point de passage obligatoire des réalisations concrètes. Elle s'implique dans le **partage des informations et dans la dissémination des connaissances** et des innovations dans le domaine de la Métallurgie et de la Science des Matériaux, en particulier par l'organisation de conférences techniques et scientifiques. Elle assure aussi cette promotion de la science et la technologie des matériaux à l'adresse des jeunes pour en montrer l'attractivité. La SF2M représente ses membres auprès des autres associations scientifiques en France et à l'étranger, en particulier la **FEMS** (Fédération Européenne des Sociétés savantes Matériaux)

Les **5 Sections régionales** maillent le territoire métropolitain : elles y représentent la SF2M et déploient localement sa politique et ses actions. Elles animent le réseau des membres et tissent un lien au niveau national entre les différentes entités locales impliquées dans la métallurgie et les matériaux.

La structure d'animation scientifique passe par nos **22 commissions thématiques**. Elles regroupent industriels et académiques autour d'un thème scientifique et / ou technique et sont le lieu privilégié d'échanges d'informations et de partage des expertises Matériaux (procédés, produits, mise en œuvre). Elles organisent des réunions scientifiques et techniques, séminaires, journées thématiques, conférences nationales ou internationales, proposent aussi des études et des actions communes et contribuent à la diffusion de l'information notamment par leur travail éditorial. Le Réseau National de la Métallurgie est une commission spécifique regroupant industriels et laboratoires du domaine. Certaines commissions ont également des activités dans les domaines de la formation, de l'accompagnement des carrières et de la diffusion de la culture scientifique vers les jeunes.

**SF2M - Société Française de Métallurgie et de Matériaux**

**28 rue Saint Dominique - 75007 – PARIS**

**[www.sf2m.asso.fr](http://www.sf2m.asso.fr)**

## Introduction

**Tout est matériau.** Les Matériaux sont partout et servent l'ensemble des marchés d'usages stratégiques : Santé, Mobilité, Bâtiment, Énergie, Luxe... mais leurs positions transversales et amont font que leurs rôles sont bien souvent méconnus voire oubliés. **Les matériaux sont au cœur des innovations pour transformer les idées en réalités concrètes.** Les matériaux avancés et actifs ont même été définis comme la technologie clef n°1 dans une étude de la DGE sur la préparation de l'industrie du futur. Donc pas de relance sans Matériaux !

Les solutions sont multi-matériaux et donc elles doivent être pensées en cycle pour leur utilisation : du « berceau au berceau et non plus à la tombe », c'est **l'économie circulaire**, un point clef du « Green deal ». Les transitions numériques et écologiques impactent l'industrie des matériaux (procédés, choix des matériaux, éco-conception des solutions) et inversement les **matériaux sont essentiels pour la réussite de ces transitions** (les robots, les capteurs (internet des objets), les batteries, les stockeurs d'hydrogène, les bâtiments à énergie neutre). Dans le domaine médical, des biomatériaux toujours plus bio-inspirés et multifonctionnels se développent tant pour une médecine de masse que personnalisée...

La crise Covid-19 a mis en avant le rôle clef des industries de transformation des matériaux dans les chaînes de valeurs de l'industrie française ; de nombreux exemples peuvent être cités : plasturgie pour les respirateurs, les masques et les visières ; textiles pour les masques ; tubes pour les lits ; forêt-bois-papier pour l'emballage ; matériaux pour le conditionnement des vaccins... Elle a aussi rendu visible l'absence de certaines technologies clefs sur le territoire français.

Cette pandémie Covid 19 (et ses conséquences économiques) se couple avec d'autres contraintes comme le réchauffement climatique. L'industrie émet 20% du CO<sub>2</sub> mais elle devra apporter « la solution à 100% », via les nouvelles technologies, les nouvelles approches... qui passeront à un moment ou à un autre par les matériaux pour leur réalisation. Cependant, il faut aborder **le développement durable dans ses 3 piliers** : la Planète évidemment, mais sans oublier l'Économie c'est-à-dire la pérennité des entreprises via l'innovation, et la société, les Personnes, et donc les compétences et leur développement. Un 4<sup>ème</sup> pilier pourrait s'y rajouter : les Partenaires, c'est-à-dire l'écosystème tant pour la recherche et le développement que pour l'industrialisation.

**Nous ne reviendrons pas au monde d'avant**, les attentes sociétales vont aussi changer. Notre nouveau rapport au temps, aux lieux, à la consommation, aux autres est donc une **source d'opportunités**. L'efficacité est un concept qui devient clef, en utilisation du temps, de l'énergie, des matières... pour développer des solutions plus durables, plus recyclables, plus rapidement. C'est une Renaissance à construire.

L'objectif de ce « Livre Blanc » est de **partager les réflexions et propositions** de spécialistes du monde des Matériaux tant industriels qu'académiques, sur leur vision du « monde d'après » au travers de grands domaines d'application ou d'enjeux stratégiques. Nous n'avons pas l'ambition d'être exhaustif mais de montrer des réalisations et d'identifier des pistes crédibles pour le futur pour les produits, les procédés de fabrication, voire les solutions complètes.

## Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

---

### **L'innovation est le carburant de demain !**

Bonne lecture, les spécialistes des matériaux restent à disposition pour toute discussion ultérieure.

### **Danièle QUANTIN et le Comité « Livre Blanc » SF2M**

*Yves BIENVENU, Nathalie BOZZOLO, Bruno CHENAL, Christophe DROUET, Anna FRACZKIEWICZ, Emmanuel HOROWITZ, Jean-Luc JACQUOT, Éric LE BOURHIS, Jean-Jacques MAILLARD, Hubert SCHAFF, Frédéric SCHUSTER,*

### **Un grand merci à tous les contributeurs :**

*S. Allain, B. Appolaire, B. Assouar, J.P. Attal, S. Beguin, A. Benoit, M. Bernacki, Y. Bienvenu, J.P. Birat, N. Blanchemain, E. Boyer, N. Bozzolo, P.F. Ceccaldi, A. Celzard, Y. Champion, B. Chenal, M. Colin, O. Delcourt, A. Depil-Duval, J. Dhers, C. Drouet, C. Dumont, E. Dursun, M. Dwek, V. Fierro, J. Flament, V. Fouquet, S. Gangloff, D. Garnier, A.L. Gaultier, J.Y. Guedou, J.L. Guichard, T. Guilbert, E. Herms, E. Horowitz, M. Laurent-Brocq, E. Le Bourhis, S. Le Goff, V. Lemarteleur, L. Lilensten, J.J. Maillard, E. Maire, B. Martel, N. Martin, S. Meille, D. Mercier, F. Montaigne, P. Morenton, F. Moussy, F. Mudry, P. Odou, F. Patisson, N. Perry, J.F. Pierson, P. Pilate, G. Pillet, P. Plaisance, J.Poirier, F. Primaux, D. Quantin, T. Quatravaux, C. Richard, B. Rihn, G. Rochefort, I. Royaud, H. Schaff, F. Schuster, S. Seghir, A.M. Sfarghiu, F. Tancret, L. Tapie, B. Tavitian, P.L. Tharoux, E. Vennat, B. Zamansky, J. Zollinger.*

## Quelques recommandations/ Commentaires de synthèse

**Les matériaux sont partout. Ils peuvent se vanter d'un rôle sociétal et économique majeur. Ils évoluent avec le monde qui les entoure. Leur production, développement et utilisation font la signature d'une société. Le monde « post-Covid » sera de plus en plus concurrentiel ; les « matériaux » font et feront partie de cette concurrence accrue.**

### **1. La France possède des atouts dans le domaine de matériaux ; des atouts à toute échelle (industriels, scientifiques, éducationnels) ; des atouts qu'il faut préserver, conforter, renforcer. Les matériaux sont facteurs de notre indépendance économique indispensable.**

Pour notre **indépendance économique**, il est nécessaire de conserver en France une panoplie de producteurs de matériaux stratégiques et ceux de haute qualité. Leurs liens avec le tissu de recherche académique de haut niveau, existant, permettra des partenariats de développement de nouveaux matériaux et procédés, présentant des propriétés nécessaires à une nouvelle application et ouverture vers un marché nouveau (chap.2).

Les **liens entre la recherche fondamentale académique et les applications industrielles** sont à renforcer. Le réseau de laboratoires d'excellence aux compétences complémentaires, les Centres de transferts de technologie et les IRT (Instituts de recherche technologique) sont des structures récentes capables de porter les résultats de la recherche à des niveaux plus proches de la finalisation du produit (chap. 2). Leur rôle est à renforcer, afin de pouvoir utiliser les compétences (et moyens) hautement spécialisées de laboratoires académiques pas seulement pour de la recherche mais aussi pour des développements industriels (chap. 2). Les effets en seront bénéfiques pour les deux parties : renforcement de l'attractivité de l'industrie et mise en valeur les compétences de laboratoires.

Notre modèle de **financement de la recherche, industrielle et publique**, appelle quelques améliorations :

- La **recherche industrielle** souffre en ce moment de crise de manque de liquidités, qui conduit à une baisse des dépenses externes, notamment, vers la recherche et développement (R&D) publique. Avec le redémarrage de l'économie attendu, une certaine stabilisation des budgets R&D des industries pourrait être accélérée grâce à des financements publics, sous forme d'avances remboursables (chap. 2).
- Si le **mécanisme du CIR** (crédit impôt recherche) est généralement apprécié, l'utilisation de ce soutien de l'état devrait être associée, sous une forme à définir, à un certain droit de regard sur les décisions qui sont prises pour l'industrialisation des découvertes faites en France.
- De même, il paraît nécessaire d'établir, *a posteriori*, **un bilan des actions de financements publics** de la recherche (par exemple, celles de l'ANR (Agence Nationale de la Recherche)), mettant en avant le « retour sur Investissement », en termes de valorisation industrielle, mais aussi celle d'accroissement des connaissances fondamentales et de visibilité des laboratoires. Une analyse des échecs ou des points de blocage pourrait compléter utilement

## Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

---

cette analyse (en prenant l'exemple sur des programmes de recherche européens, ECCA), (chap.2).

Le succès de toute démarche passe aussi par des **approches pluridisciplinaires**, moins hyperspécialisées. Par exemple, pour mener à bien un développement matériau, il est nécessaire de coupler dès le début, les trois aspects : physique (microstructure), mécanique (lois de comportement, critères fatigue, rupture...) et numérique (dimensionnement sous contrôle de la faisabilité industrielle, coût, approvisionnement matière...). Les liens efficaces entre ces trois aspects sont encore rares ; ils nécessitent des collaborations des équipes de compétences différentes... et donc, armées de formations larges et complémentaires, tout en restant dotées d'un socle commun significatif.

La **formation en matériaux** reste un fondamental de la formation d'ingénieurs et d'ingénieurs-chercheurs. Évolutive, en accord avec les évolutions de la société, une telle formation doit :

- Proposer des enseignements et activités interdisciplinaires pour leur apporter des connaissances poussées sur les matériaux et procédés et des compétences multi-physiques. Plusieurs exemples viennent du domaine de la santé (chap. 2) : il est nécessaire d'initier des futurs ingénieurs mécaniciens à des problématiques de bio-ingénierie et donc aux propriétés de biocompatibilité des matériaux ; aborder le monde des matériaux naturels ou des propriétés biologiques ; confronter les étudiants à des problématiques réelles, avec des cahiers des charges complexes multi-objectifs (mécanique vs biologique, sanitaire, recyclabilité, approvisionnement, toxicité...).
- Intégrer les formations au numérique / digital : Il est plus efficace de former un ingénieur Matériaux aux technologies digitales que de former des data scientists aux matériaux.
- Sensibiliser les étudiants à de nouveaux matériaux ou de nouvelles techniques de fabrication (matériaux hybrides (composites ou architecturés) ou encore des procédés avancés (e.g. les traitements de surface, la fabrication additive, performances et la fiabilité de systèmes...) afin d'accélérer les transitions industrielles attendues et qui viendront avec les compétences des futures générations des cadres de l'industrie.
- Intégrer des outils liés à la transition écologique et à l'économie circulaire ; enseigner et sensibiliser les étudiants, aux les risques liés aux chaînes d'approvisionnement
- Créer dès la formation initiale des liens forts entre le monde universitaire et industriel. L'enseignement à distance pourrait s'avérer bénéfique pour développer l'expertise des étudiants grâce aux études de cas réels et des projets intégrateurs où les étudiants sont amenés à faire converger plusieurs compétences, couplant plusieurs modèles, méthodes et aptitudes grâce aux logiciels de simulation.
- Encourager des compétitions étudiantes (exemples : courses de véhicules ou bateaux solaires, robotique, « World Steel Challenge » annuel...). Elles constituent d'excellentes occasions pour mettre en application des connaissances acquises en cours et rapprocher les futurs ingénieurs ou scientifiques des démarches de projet, présentes dans des contextes professionnels.
- Enfin, l'avenir est numérique... et il nous faut des ingénieurs matériaux qui maîtrisent parfaitement les concepts et les outils numériques, bien que les compétences expérimentales resteront très importantes pour valider les solutions proposées et ne pourront pas disparaître au profit du tout numérique (Chap. 7).

## Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

---

### 2. Les matériaux restent une clef pour le futur de l'industrie et de la société... et ils évoluent avec elle

La **métallurgie du futur** bénéficiera du caractère « flexible » des métaux et des alliages métalliques (points de fusion, plasticité, variétés d'alliages extrêmement grandes, large gamme de microstructures, de phases et de propriétés...). C'est cette flexibilité des alliages métalliques qui est à l'origine de leur fort impact sur le développement industriel, l'économie et la société. La science et la technologie en métallurgie ont produit pendant des décennies, d'énormes quantités de données, de méthodes, d'expériences et d'expertise, utilisées pour le développement d'autres matériaux (céramiques, verres, semi-conducteurs). Cette flexibilité est bien adaptée pour initier de nouvelles approches et de nouvelles méthodes de conception de matériaux. La complexité qui y est associée demandera d'être abordée par les outils naissants autour des approches combinatoires, des méthodes de caractérisation à haut débit, la fouille de données, la modélisation, et les méthodes de l'intelligence artificielle (chap. 3).

Le **futur matériau sera numérique**, avant de devenir « réel »... La France fait partie des pays les plus en pointe pour le développement et l'utilisation des outils numériques pour représenter et simuler numériquement le matériau au cours de sa mise en forme ou sollicité en service. Cette position doit être maintenue en continuant et en amplifiant les efforts de recherche et de transfert industriel dans le domaine. Il est nécessaire de promouvoir le matériau numérique dans les programmes de formation d'ingénieurs en matériaux et développer une offre de formation continue pour l'adaptation des personnels en poste à ces nouveaux outils. Ces formations pourraient du reste être adossées à un grand programme national, associant les meilleurs laboratoires académiques et les acteurs industriels (Chap.7)

Parmi les matériaux en plein développement, **matériaux polymères et composites** attirent une attention particulière (chap. 2, 4). Pour assurer leur progrès, des approches transverses, fédérant les chimistes/physicochimistes, les rhéologues, les plasturgistes et les mécaniciens, avec une complémentarité des compétences théorie/expérience/numérique, sont une nécessité. Afin de bénéficier au mieux du potentiel de ces matériaux, le développement de nouveaux outils expérimentaux (couplages in situ) est nécessaire. De plus, une prise en compte de l'impact environnemental (l'analyse de leur durabilité, et en particulier de leur fin de vie et de la réutilisation/recyclage), se situent parmi les défis majeurs du domaine. Enfin, leur rôle croissant dans le domaine de la santé constitue une justification supplémentaire des efforts à entreprendre.

**Les matériaux réfractaires** (chap. 2) sont clefs pour les procédés de l'industrie des matériaux. Il s'agit des matériaux très « techniques », et leurs approvisionnements se font en grande partie hors Europe. Ils nécessitent des ressources et des technologies, mais aussi de l'expertise, des compétences et donc de la formation appropriée. Il est indispensable que notre société garde une maîtrise suffisante de la production de ces matériaux ainsi que des activités de recherche les concernant.

Cependant, nous sommes dépendants dans ce domaine des matières premières importées ; une diminution de la dépendance, ne pourra venir qu'avec l'amplification et la pérennisation d'une série de mesures, dont la plupart sont déjà en cours :

- 1/ L'évaluation et la valorisation de toutes les sources possibles d'approvisionnement ;
- 2/ L'invention et la production de nouvelles matières premières ;
- 3/ L'invention, l'optimisation et l'utilisation de nouveaux matériaux réfractaires ;
- 4/ L'optimisation des procédés de fabrication et d'utilisation des réfractaires ;
- 5/ L'optimisation des procédés de récupération et de recyclage.

## Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

---

### 3. Les matériaux se situent au cœur de la transition écologique

**L'industrie métallurgique**, indispensable pour créer des matériaux de structure en particulier, se trouve face au **trois défis majeurs** (chap. 5) : réduction de l'empreinte environnementale (et des émissions de CO<sub>2</sub>) des procédés métallurgiques en phase liquide ; optimisation des performances et de la durabilité des alliages métalliques industriels par le design des microstructures ; recyclage des matériaux métalliques.

Les procédés de fabrication nouveaux, tels que la fabrication additive, peuvent apporter des progrès notables en termes de qualité et d'efficacité d'utilisation de la matière (chap. 5) et de fabrication de nouvelles géométries optimisées pour une fonction définie. Plusieurs familles de verrous restent à lever pour un développement industriel massif :

- 1/ La maîtrise du cycle des matières premières.
- 2/ La maîtrise des procédés industriels « du micro au macro » grâce à l'instrumentation et la simulation.
- 3/ Le développement des outils de conception pour des composants fortement contraints.
- 4/ La fonctionnalisation intelligente de composants par fabrication additive et intégration de capteurs directement dans les pièces en cours de fabrication (smart fonctionnalisation).
- 5/ La maîtrise de la chaîne numérique depuis le design jusqu'au contrôle non destructif des pièces en passant par l'optimisation des procédés par une approche de type Intelligence Artificielle et la constitution de bases de données des matériaux issus de la fabrication additive.

**L'économie circulaire est une nécessité sociétale criante.** L'économie des matériaux commence par des solutions optimisées économiquement et / ou écologiquement (chap. 5).

Pour des matériaux classiques, optimisons leur emploi (par allègement de structures grâce à une amélioration de la tenue mécanique ... ou par une augmentation de leur durée de vie !)

L'optimisation peut aussi être topologique : placer la matière là où il faut sans se fier à la situation existante ou à l'intuition. C'est mathématiquement difficile mais des débuts d'applications existent même s'il est nécessaire de dégrader la solution trouvée pour la rendre réalisable industriellement.

La **relocalisation des matières premières** n'est pas toujours faisable : Dans certains cas, le développement des productions nationales à partir du sous-sol français y compris en métropole (lithium, indium) n'est pas exclu, sous réserve d'une analyse préalable de faisabilité tenant compte des aspects techniques et sociétaux. Dans d'autres cas, il nous faut donc identifier et exploiter de façon intensive les « mines urbaines » dans le cadre d'une approche économie circulaire optimisée (chap. 5). Il s'agit de technologies de recyclage mais d'abord de tri, de traçabilité puis de flux logistiques, de recherche, d'expérimentation et de compétences qui elles doivent être nationales pour maîtriser ces approvisionnements. C'est la combinaison traçabilité + tri + recyclage qui est clef pour garder la valeur économique du matériau. Et, dans tous les cas, pour chaque matière première, la notion de « écobilan » devrait être développée et généralisée. Ce concept prendrait en compte l'exploitation d'un matériau, les diverses étapes de sa transformation et de sa consommation, son transport. À moyen terme, les produits ayant un trop mauvais "écobilan" seraient pénalisés par des taxes ou même des réglementations rédhibitoires.

Les **techniques du recyclage** des produits en fin de vie devraient être généralisées à tous les niveaux. Il faudra développer les incitations fiscales et les normes réglementaires pour encourager et encadrer ces nouvelles techniques ; l'effort de R&D en matière de recyclage doit être accru. Pour les matériaux métalliques, l'hydrométallurgie reste une technique de choix en ce qui concerne la



## Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

---

valorisation des déchets miniers, des déchets industriels et des produits en fin de vie (les mines urbaines).

#### **4. Les besoins en matériaux de la société du futur changent... tout en restant constants. Nous aurons toujours besoin de produire l'énergie, de construire nos infrastructures, de nous déplacer et de nous soigner.**

Pour **mieux construire nos infrastructures et mieux utiliser l'énergie** dont nous disposons, il faudra développer de nouveaux matériaux à très forte capacité d'isolation (type aérogels ou isolants sous à « capacité de guérison » pour des solutions plus durables (chap. 6). Le sujet des **matériaux pour énergie** couvre un vaste domaine. L'énergie fait partie des challenges sociétaux fondamentaux, sur deux volets : l'écologie (réduction des émissions du CO<sub>2</sub> par le développement des énergies décarbonées) et l'autonomie économique.

Les *technologies de l'énergie décarbonée* font face à trois défis : développer des synergies nucléaire/non nucléaire sur les procédés émergents ; faciliter la mise en place et la croissance des *start-up* pour la synthèse et l'intégration des nanomatériaux en particulier ; renforcer une approche d'éco-innovation des composants pour les énergies.

Dans ce domaine, des progrès notables sont attendus des *développements de nouveaux micro et nano matériaux* pour une électricité verte abondante (chap. 6). Les « métamatériaux » et leurs propriétés électromagnétiques hors du commun sont potentiellement des solutions pour le futur. Les matériaux poreux ont un bel avenir devant eux : ils sont de plus en plus utilisés pour la séparation, le stockage et la compression des gaz et, comme support de catalyseurs dans les applications liées à l'énergie, telles que les électrodes de piles à combustible, électrolyseurs et supercondensateurs. Le défi reste d'obtenir ces matériaux à partir de matières premières renouvelables au lieu d'utiliser des précurseurs pétrochimiques.

*L'hydrogène est une source d'énergie prometteuse* pour une production / consommation de proximité, évitant toute importation. Cela semble une bonne solution pour le transport lourd (les batteries étant plus adaptées pour le léger, pour les déplacements urbains). Il est à utiliser dans une approche de filière décarbonée, *via* l'utilisation d'énergies renouvelables (photovoltaïque et éolien) pour aller vers l'électrolyse de l'eau. Des besoins en développement des matériaux pour ces usines d'électrolyse et pour le stockage d'énergie aussi peuvent devenir critiques pour la filière ; des efforts sont nécessaires. Le *nucléaire, l'éolien, et le photovoltaïque* doivent être regardés dans une approche d'économie circulaire (démantèlement, réutilisation, réparation, recyclage, ...) (chap. 6). Le recyclage des matériaux du nucléaire, le reconditionnement de composants des éoliennes, et des centrales photovoltaïques, constituent des filières économiques à structurer d'importance majeure (chap.6).

La **mobilité** est en train de devenir de plus en plus « électrique » et par là même connectée avec les nouveaux développements de l'énergie sans oublier la poursuite de la chasse aux kilos au travers d'une optimisation du choix des matériaux dans un compromis sécurité/ autonomie.

Le **domaine de la santé** (chap.4) continue à former un grand défi pour les matériaux. Dans ce domaine, peut-être même plus que dans d'autres, des collaborations interdisciplinaires sont nécessaires : il est essentiel de bien identifier les besoins cliniques des soignants pour adapter les solutions « biomatériaux » à envisager et les capacités de production.

En plus des développements déjà classiques (implants, prothèses, ...), le *développement de biomatériaux* et nano-systèmes bio-inspirés pourrait être renforcé pour la mise au point de solutions toujours plus biocompatibles voire multifonctionnelles.

## Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

---

Pendant la crise sanitaire récente, *les risques sanitaires* se sont invités dans la partie : le développement de surfaces et de matériaux anti bactériens, virucides, auto nettoyants, anti salissures, est devenu une nécessité. Diverses approches antimicrobiennes sont pertinentes à poursuivre, que ce soit à base de métaux/couches métalliques antibactériennes, de systèmes céramiques ou polymères. Un axe de recherche prometteur porte sur l'optimisation de la durabilité des systèmes désinfectants. D'autres voies de recherche sont en train de s'ouvrir : systèmes (très peu nombreux) permettant une décontamination de l'air par destruction du virus en combinant plusieurs modes de décontamination ; des technologies de type impression 3D ou *electrospinning*. Elles se sont avérées pertinentes pendant la pandémie du Covid ; leur utilisation et potentiel devraient encore être explorés.

### **5. Enfin, nos objectifs « matériaux », tant industriels qu'universitaires, nécessitent une dimension européenne**

Un rapport européen récent (chap. 3) a défini les priorités et approches européennes dans ce domaine :

- 1/Besoin de coordonner la recherche Matériaux au niveau Européen avec une stratégie commune pour définir une recherche multidisciplinaire tirant profit de synergies multi-compétences. C'est une des manières les plus efficaces pour atteindre les objectifs du « Green deal ».
- 2/Développement de réglementations et de standards communs disponibles gratuitement au niveau de l'Europe pour faciliter les développements produits et réduire les coûts de fabrication en Europe.
- 3/Les matériaux doivent être durables, économes en énergie avec une faible empreinte carbone au niveau de leur fabrication et de leur usage. Une approche économie circulaire est nécessaire pour minimiser l'utilisation des matières premières.
- 4/Un investissement intensif dans les matériaux est nécessaire pour la production d'énergies décarbonées et renouvelables, leur stockage et leur distribution sans oublier le besoin pour des carburants alternatifs efficaces et une réduction des émissions.
- 5/La modélisation des matériaux, l'intelligence artificielle, le « machine learning », les matériaux pour les technologies de la communication et de l'information et les technologies quantiques sont clefs pour réussir la nécessaire transition numérique de notre société.
- 6/Une économie Européenne plus résiliente grâce à un accès aux matières premières garanti peut être réalisée avec un approvisionnement durable combiné avec une durabilité plus grande des matériaux, une plus grande efficacité énergétique, un taux plus important, tout au long de la vie des produits, de récupération – réparation – réutilisation – recyclage ainsi qu'une écoconception des solutions.
- 7/Un futur plus sûr serait garanti par une production de qualité en Europe via des alliances pour une chaîne d'approvisionnement résiliente, permettant une flexibilité accrue et une reconfiguration avec des règles communes.
- 8/Une économie verte stable et durable nécessite une « conception pour et par le recyclage » et des réglementations européennes adaptées pour réussir des alternatives plus durables, alignées avec les cibles du « Green Deal ». Le développement de matériaux et surfaces intelligentes, avec de nouvelles fonctionnalités, des capteurs embarqués sera nécessaire pour l'économie circulaire.
- 9/Les sciences et l'éthique scientifique peuvent aider la société à recréer une coopération et une confiance avec les citoyens et les états. Ceci va bien au-delà de la science des matériaux évidemment.

## Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

---

Accès au « Livre Blanc » : <https://sf2m.fr/livre-blanc/>

## Liste des contributions

### 1 - Introduction et Synthèses des propositions / recommandations

- Introduction générale
- Synthèse des Propositions / recommandations
- Liste des contributions

### 2 - On ne pourra jamais se passer de matériaux

- Introduction *Bruno CHENAL*
- COVID 19, Société, risques sanitaires et Matériaux *Jean-Pierre BIRAT*
- Les partenariats de développement de nouveaux matériaux entre concepteurs de produits innovants et producteurs de matériaux de haute qualité sont un facteur-clé de la capacité d'innovation en France *Hubert SCHAFF*
- Prospectives Matériaux « Polymères et Composites » *Isabelle ROYAUD pour l'équipe 304 - Physique, Mécanique et Plasticité - Institut Jean Lamour*
- Matériaux céramiques réfractaires, indispensables pour l'industrie « primaire » (élaboration des matériaux de structure), pilier de l'industrie *Pascal PILATE, Jean-Louis GUICHARD, Jacques POIRIER pour la Commission mixte GFC SF2M - Matériaux céramiques réfractaires*
- Fabrication additive métallique *Julien ZOLLINGER – Institut Jean Lamour, Frederic SCHUSTER (CEA), Bruno CHENAL (Constellium)*
- Les enjeux de la formation post-pandémie *Mauricio DWEK, Nicolas MARTIN, David MERCIER - Granta Education Division, Material Business Unit, Ansys Inc., Lyon, France*
- Sur la réindustrialisation et les matériaux pour l'indépendance économique de la France *François MUDRY*
- Enjeux et défis pour les matériaux *Olivier DELCOURT / Safran*
- Des aides à la R&D matériaux incomplètes... *Christian DUMONT - Aubert&Duval, Nathalie BOZZOLO - MINES ParisTech CEMEF, Jean Jacques MAILLARD, Hubert SCHAFF*

### 3 - Les matériaux de demain : une affaire européenne

- Introduction *Danièle QUANTIN*
- Réflexion pour de futures orientations en métallurgie sur la base des initiatives de l'union européenne *Yannick CHAMPION, SIMaP*

## Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

- **Le rôle des matériaux dans une société Post COVID - Réflexion collective sur les matériaux, porteurs de solutions pour un monde plus sain, plus sûr et résilient dans le cadre d'une économie durable, stable et plus forte capable de répondre aux attentes des citoyens** *Éditeurs pour EUMAT : Marco FALZETTI, Winfried KEIPER, Amaya IGARTUA, Rodrigo MARTINS, Nieves GONZALEZ, Éric LE BOURHIS*

### 4 - Notre santé dépend aussi des matériaux

- **Introduction** *Christophe DROUET*
- **Sur le rôle clé des nanomatériaux et nanotechnologies en virologie** *Christophe DROUET- CIRIMAT, Université de Toulouse, CNRS / INP / UT3*
- **Matériaux antimicrobiens : retour sur le projet CUPROCARE et l'alliage Steriall®** *Julien FLAMENT et François PRIMAUX- Groupe Lebronze alloys, Sophie GANGLOFF ET Marius COLIN - EA 4691 Biomateriaux et inflammation en site osseux, UFR Pharmacie, Université de Reims Champagne-Ardenne*
- **Élaboration de matériaux composites pour la décontamination des virus dans l'air par une approche originale combinant adsorption et photothermie** *Sylvie BEGIN et al.- IPCMS, Strasbourg*
- **L'électrospinning au service de la prévention contre le COVID19 : fabrication de membranes biocides** *Bernard MARTEL<sup>1\*</sup>, Nicolas BLANCHEMAIN<sup>2</sup>, Pascal ODOU<sup>3</sup> - (1) UMET – Unité Matériaux et Transformations, Université of Lille, CNRS, INRA, ENSCL UMR8207, (2) Controlled Drug Delivery Systems and Biomaterials, Université of Lille, Inserm, CHU Lille, U1008, (3) CHU Lille, Institut de Pharmacie*
- **Particules de pollution et Covid-19 : Vers la genèse des matériaux anti-inflammatoires** *Ana-Maria SFARGHUI - INSA Lyon*
- **Visières protectrices imprimées en 3D pour les professionnels de santé** *LEMARTELEUR V<sup>1</sup>, FOUQUET V<sup>2</sup>, LE GOFF S<sup>2</sup>, TAPIE L<sup>2</sup>, MORENTON P<sup>3</sup>, BENOIT A<sup>2</sup>, VENNAT E<sup>2,3</sup>, ZAMANSKY B<sup>2</sup>, GUILBERT T<sup>4</sup>, DEPIL-DUVAL A<sup>5</sup>, GAULTIER AL<sup>6</sup>, TAVITIAN B<sup>6,7</sup>, PLAISANCE P<sup>1,5</sup>, THARAUX PL<sup>7</sup>, CECCALDI PF<sup>1,8</sup>, ATTAL JP<sup>2,9</sup>, DURSUN E<sup>2,10</sup> – .<sup>1</sup> Université de Paris, Centre de Simulation iLumens Paris Diderot-Paris Nord, -<sup>2</sup> Université de Paris et Université Sorbonne Paris Nord, URB2i (UR 4462) -<sup>3</sup> Université Paris-Saclay, CentraleSupélec -<sup>4</sup> Université de Paris, Institut Cochin, Inserm (U1016), CNRS (UMR 8104) -<sup>5</sup> Service d'Urgence-SMUR, AP-HP, Hôpital Lariboisière, Paris-<sup>6</sup> Service de Radiologie, AP-HP, Hôpital Européen Georges Pompidou, Paris-<sup>7</sup> Université de Paris, PARCC, Inserm, -<sup>8</sup> Service de Gynécologie et Obstétrique, AP-HP, CHU de Beaujon, Clichy -<sup>9</sup> Service de Médecine Bucco-Dentaire, AP-HP, Hôpital Charles Foix, Ivry-sur-Seine -<sup>10</sup> Service de Médecine Bucco-Dentaire, AP-HP, Hôpital Henri Mondor, Créteil*
- **Codéveloppement d'une valve trachéale pour système clos de ligne de ventilation / intubation sur patient en réanimation (contexte SARS-COV2 - printemps 2020)** *Nicolas PERRY - Arts et Métiers, CNRS, I2M Bordeaux*
- **Opportunités pour les biomatériaux et la médecine régénératrice de relever les défis de la Covid-19** *Gaël Y. ROCHEFORT, PhD-SATT LUTECH, Paris*
- **Matériaux pour filtrer et détruire le virus SRAS-CoV-2 responsable de la dissémination de la maladie Covid 19 dans des lieux fermés** *Yves BIENVENU-MINES ParisTech, Paris*

## Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

---

- **Matériaux pour la santé, matériaux /surfaces céramiques antimicrobiens** *M. Gérard PILLET- Société Française de Céramique (SFC)*
- **Effet oligodynamique du cuivre et coronavirus** *Caroline RICHARD - Université de Tours – GREMAN – CNRS 7347*
- **Matériaux et Santé : Interfaces vivant / inerte** *Bertrand RIHN- Institut Jean Lamour, Laboratoire N2EV*
- **Surfaces et Traitements de Surfaces** *Jean-François PIERSON- Institut Jean Lamour, Laboratoire CP2S*

### 5 - L'optimisation des matériaux : la base de l'économie circulaire

- **Introduction - Matériaux et Économie circulaire : Une révolution par une production écoresponsable et par le recyclage est-elle possible ?** *Emmanuel HOROWITZ, François MOUSSY, Bruno CHENAL*
- **Matériaux et transition écologique : Réduction de l'impact énergétique et environnemental des métaux abondants** *Sébastien ALLAIN, Fabrice PATISSON et Thibault QUATRAVAUX - Institut Jean Lamour*
- **Vers l'éco-conception et la géo-conception de nouveaux alliages métalliques** *Franck TANCRET - Université de Nantes*
- **Construction et Environnement** *Sylvain MEILLE - Équipe Céramiques et Composites, laboratoire MATEIS INSA Lyon*
- **Recyclage co-produits et déchets de la métallurgie** *Jean-François PIERSON - Institut Jean Lamour, Laboratoire CP2S*
- **Vers une amélioration du recyclage des métaux et alliages métalliques** *Lola LILENSTEN<sup>1</sup>, Mathilde LAURENT - BROCCQ<sup>2</sup> -<sup>1</sup> : Institut de Recherche de Chimie Paris, Chimie ParisTech, CNRS, PSL Research University, <sup>2</sup> : Université Paris Est Créteil, CNRS, ICMPE (UMR 7182)*

### 6 - Les nouveaux matériaux : une solution pour produire de l'énergie décarbonée

- **Introduction** *Danièle QUANTIN*
- **Les matériaux pour les Nouvelles Technologies de l'Énergie dans un contexte d'Économie Circulaire** *Étienne BOUYER, Frédéric SCHUSTER - CEA*
- **Vent d'innovation dans l'éolien** *Delphine GARNIER, Sakina SEGHIR- Pôle de Compétitivité MATERIALIA*
- **Matériaux et transition énergétique** *Jean François PIERSON- Institut Jean Lamour / Laboratoire CP2S et François MONTAIGNE pour le Projet MiNaMat (Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS), L'Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M), Institut Jean Lamour*
- **Matériaux et procédés pour l'énergie nucléaire** *Emmanuel HERMS - CEA + SFEN/Section Technique, Jean DHERS - Framatome*
- **Matériaux poreux pour l'énergie et l'environnement** *Vanessa FIERRO et Alain CELZARD - Institut Jean Lamour, Équipe Matériaux Biosourcés, Laboratoire N2EV*
- **Matériaux du futur : les Métamatériaux** *Badreddine ASSOUAR - Institut Jean Lamour / Laboratoire N2EV*
- **Matériaux et Mobilité** *Éric MAIRE - INSA Lyon, François MOUSSY, Danièle QUANTIN, Jean-Yves GUEDOU*

## 7 - La conception des futurs matériaux passe par le numérique

- **La simulation numérique au cœur de l'Industrie 4.0 de l'élaboration, de la transformation et du recyclage des matériaux** *Marc BERNACKI et Nathalie BOZZOLO - MINES ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis, Benoît APPOLAIRE - Institut Jean Lamour, Nancy*



Les micrographies de la page de couverture sont illustratives de la diversité des travaux des membres de la SF2M sans lien direct avec les thèmes abordés dans le livre blanc

Titre « Fleurs de zinc »

Auteur : Housseem Eddine CHAIEB

Observation au MEB LEO 1450VP en électrons rétrodiffusés d'une surface d'un acier revêtu en Zn-Al. Grossissement : x 500, EHT : 15 kV.

Titre « Forêt sous-marine »

Auteur Maxime VACHEROT. Il s'agit d'une observation au microscope optique, en polarisation croisée, d'un décollement de film PET (polyethylene terephthalate) dans le fond d'un gradin de fond de boîte de conserve

Titre « Crystal city »

Auteur :Kevin GINESTAR. Micrographie électronique à balayage en mode électrons secondaires. Microscope Zeiss LEO 1450VP. Grandissement X1000. Echantillon Fe-Te (54 at% Te) après traitement thermique (950 K, 330 h, sous vide).OH)