

Chapitre 3 : Les matériaux de demain : une affaire européenne.

Table des matières

3-1 Introduction	2
3-2 Réflexion pour de futures orientations en métallurgie sur la base des initiatives de l'union européenne.....	3
3-3 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	7

3-1 Introduction

Danièle QUANTIN

Mots Clefs : Matériaux, métallurgie, collaborations, projets, financements

La pandémie COVID 19 a montré combien nous sommes à la fois seuls et ensemble. Seuls pour des décisions court terme mais ensemble pour lutter contre (vaccins, plans de relance globaux...).

Pour les « matériaux du futur », on fera mieux, ensemble, nos industries étant interconnectées et sous les mêmes dépendances internationales : nouveaux matériaux, mais aussi économie circulaire, moyens de recherche partagés, compétences en réseau projets collaboratifs, ...

Les matériaux, ont un encrage historique Européen démarrant avec la Communauté Européenne du Charbon et de l'acier en 1952, la fédération européenne des sociétés de matériaux en 1989 (FEMS dont la SF2M est membre), se poursuivant par des plans successifs, jusqu'à Horizon 2020, Horizon Europe sans oublier le Programme ERASMUS pour les étudiants. On y trouve effectivement économie circulaire, énergie, environnement ...

La **communauté Européenne des matériaux (Alliance for Materials A4M)** a été très active pour faire des propositions en relations avec Horizon Europe dans une approche Post COVID. Elle insiste sur **la recherche et l'innovation nécessaire en relation avec le Green Deal et les plans de relance** (*Les propositions sont résumées dans le Livre Blanc*).

La tendance est à se projeter vers de nouveaux matériaux un peu « exotiques ». Il ne faut cependant pas oublier les métaux, ils n'ont pas dit leur dernier mot. **La science des matériaux, la métallurgie et l'ingénierie sont sous-jacentes et essentielles** y compris pour le développement des solutions intelligentes. Ces fonctions intelligentes naîtront et reposeront sur tout type de matériaux dont le métal, savamment organisés et associés. *Une réflexion avancée sur ce sujet a été finalisée et fait l'objet d'une contribution.*

3-2 Réflexion pour de futures orientations en métallurgie sur la base des initiatives de l'union européenne

Yannick Champion, SIMaP

Mots clés : Métallurgie, Europe, COP21, éthique, sciences humaines et sociales (SHS), conception, combinatoire, matériaux intelligents, association de phases, recyclages, durabilité, fouille de données

Constat Post COVID sur le thème

À la lecture des documents de l'Union Européenne (textes du programme H2020) la notion de fonction « intelligente » est dominante. Il semble par ailleurs que **ces fonctions vont naître essentiellement du graphène et des « nano »**. On peut assez vite penser que **les « anciennes » phases telles que les alliages métalliques ne sont là que pour soutenir les fonctions intelligentes et innovantes** issues de ces nouvelles phases (dans le sens qu'ils constituent le support physique ou l'emballage !). Pourtant, un décodage en profondeur des objectifs des programmes de recherche montre que la science des matériaux, la métallurgie et l'ingénierie sont sous-jacentes et essentielles. Les fonctions intelligentes naîtront et reposeront sur tout type de matériaux dont le métal, savamment organisés et associés. Dans le panel des problèmes mis en exergue par l'UE et sa mécanique de soutien à la recherche et au développement, un des principaux enjeux pour les métallurgistes semble désormais d'identifier la ou les « **futures technologies émergentes** » pertinentes pour produire des avancées significatives dont les sociétés ont besoin. Ce document constitue un début de réflexions issu de l'analyse de la programmation H2020, de discussions lors du colloque « **Nouveaux alliages métalliques** » dans le cadre du programme Convergence du CNRS, ainsi que d'un ensemble d'entretiens lors de visites de laboratoires européens (EPFL Lausanne, ETH Zurich, Max Planck Institute Düsseldorf, Department of Materials Science, Cambridge) et de la visite à l'Université Grenoble Alpes au laboratoire SIMaP du Prof. Gerhard Wilde de l'Université de Munster.

Alerte / Enjeu N°1 : Matériaux et fonctions.

Réduire le fossé entre les pays développés et sous-développés est une aspiration naturelle des sociétés modernes. En ce sens, les habitants de tous les pays devraient avoir un accès équivalent à la santé, à l'éducation, au travail, à l'énergie, aux transports, aux communications, aux données et aux loisirs. En partie, ce paradigme est interprété en termes de besoins des sociétés en fonctions spécifiques qui contribueraient à réduire le fossé entre elles. A cela s'ajoute la forte prise de conscience environnementale. La conférence **COP21** (Paris, 2015) a fortement sensibilisé et tenté d'inciter à un plus fort engagement des pays pour lutter contre le changement climatique, la pollution et l'épuisement des ressources naturelles. Cela exige que les fonctions spécifiques nécessaires aux sociétés soient **éthiques**, qu'elles soient durables, que leur formation, leur utilisation et leur fin de vie soient respectueuses de l'environnement.

La réflexion s'est menée à l'échelle européenne avec l'idée directrice de créer un réseau et une plateforme académiques et industriels dont l'objectif serait à terme de contribuer à la conception de fonctions éthiques. Un tel projet viserait à répondre aux grands enjeux de société en concevant des fonctions pertinentes, intelligentes et éthiques issues des matériaux. Dans le référentiel H2020 nous avons choisi l'appel à projet spécifique FET (future emerging technology) très compétitif mais bien adapté aux enjeux car visant à identifier des technologies émergentes. Le défi vise à développer de nouvelles voies (les « futures technologies émergentes ») pour accéder à des fonctions éthiques, qui dans un modèle économique global doivent à terme conduire à de la croissance économique, à des activités industrielles et à du développement. Dans ce schéma, l'aspect éthique deviendrait une force de développement et de croissance plutôt qu'une contrainte. Un tel changement nécessite

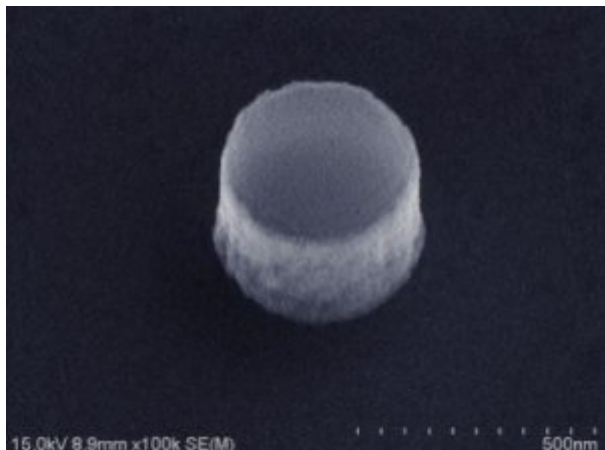
Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

l'association de partenaires historiques des sciences « dures » et de la technologie, universitaires et industriels (des grands consortiums aux PME) et l'intervention de modérateurs très probablement de différents domaines des sciences humaines et sociales (SHS) pour traiter des problèmes de société, identifier les fonctions pertinentes, analyser l'économie mondiale, la géopolitique, la gestion des ressources, l'acceptabilité et la réglementation. La métallurgie est centrale dans la réflexion, mais l'objectif n'est pas de promouvoir des alliages métalliques en concurrence avec d'autres matériaux (polymères, céramiques, semi-conducteurs, béton, bio sourcés). Paradoxalement de futures technologies émergentes pourraient d'ailleurs à terme contribuer à réduire voire supprimer les alliages métalliques pour atteindre la fonction la plus efficace et éthique.

Alerte / Enjeu N°2 : Peut-on alors se passer d'innovation en métallurgie ?

L'emploi des métaux et des alliages métalliques, en particulier l'acier, a longtemps été un indicateur du développement industriel et de la croissance des pays [*« Metals in the Service of Man » by Arthur Street, William Alexander (Penguin science, last ed. 1998)*]. Peut-on se passer désormais de nouveaux alliages métalliques et d'innovation ? L'argumentaire en faveur d'un maintien est « dilué », sous-jacent mais bien présent dans la programmation européenne et ses défis sociétaux. Les alliages métalliques resteront des phases clés, en fraction plus ou moins grande dans les matériaux et les produits en raison de leurs propriétés (semi) intrinsèques (résistance mécanique et plasticité, propriétés électriques, magnétiques, chimiques) et des immenses possibilités qu'ils proposent en termes de formulation chimique et de microstructures ; ces dernières pouvant permettre l'ajustement des propriétés et de la rupture. La réduction de la fraction d'alliages métalliques est toujours justifiée dans un produit mais l'intégration de la partie résiduelle dans les matériaux devra dans les tous cas être optimisée pour plus d'efficacité. Faire face aux différences de physico-chimie et de propriétés est toujours un défi qui peut être relevé avec des réflexions sur la conception des alliages pour une association intelligente avec d'autres phases. À titre d'exemple de substitution des alliages métalliques, l'industrie aéronautique est probablement emblématique. Il est vrai que le dernier Boeing 787 Dreamliner est constitué à 50% en poids de composites (principalement à matrice organique et fibres de carbone ou de verre). L'Airbus A350 est à 53% en poids composite et pour comparaison, l'A380 moins de 20%, le B777 10%. Le fait est que cette nouvelle technologie permet une certaine réduction de la consommation de carburant et a donc un impact sur le climat, mais pas de manière significative. Elle a un impact surtout économique avec une réduction des coûts de maintenance d'environ 30% et souffre d'un manque de processus de recyclage des composites. Un autre exemple soutenant le métal, concerne le besoin en composants microélectroniques extrêmement robustes pour répondre à la demande d'appareils entièrement connectés et autonomes (voitures autonomes, accessibilité, intelligence artificielle ...). Les défis sont à la fois la miniaturisation et la durabilité, mais aussi l'innovation et le développement de matériaux connectés et le transfert d'informations là où les métaux devraient être encore essentiels. Pour l'exemple, le premier nano-neurone artificiel doté de capacités de reconnaissance vocale est un ferromagnétique métallique.

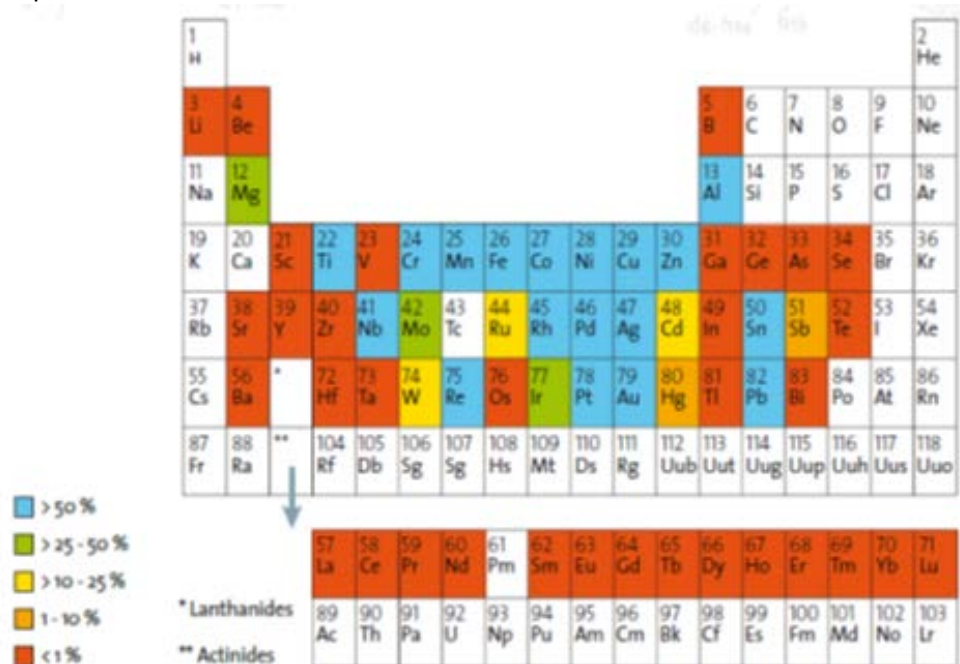
Nano-neurone Artificiel. *Physics unit (Thales/CNRS), Center for nanosciences and nanotechnologies (CNRS/Univ. Paris Saclay), Center for Nanoscale Science & Technology (Maryland, USA), National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Japan)*



Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

Alerte / Enjeu N°3 : Recyclage et « recyclabilité »

Dans de nombreuses applications, les métaux sont encore essentiels pour leurs propriétés structurales et fonctionnelles. Cependant, tous les minerais métalliques souffrent d'un épuisement important. Des réflexions profondes doivent être menées sur la manière de limiter l'utilisation des ressources et de définir des stratégies de réutilisation des matériaux existants, de donner une seconde vie aux différentes parties des appareils et des produits, de tendre vers un recyclage complet.



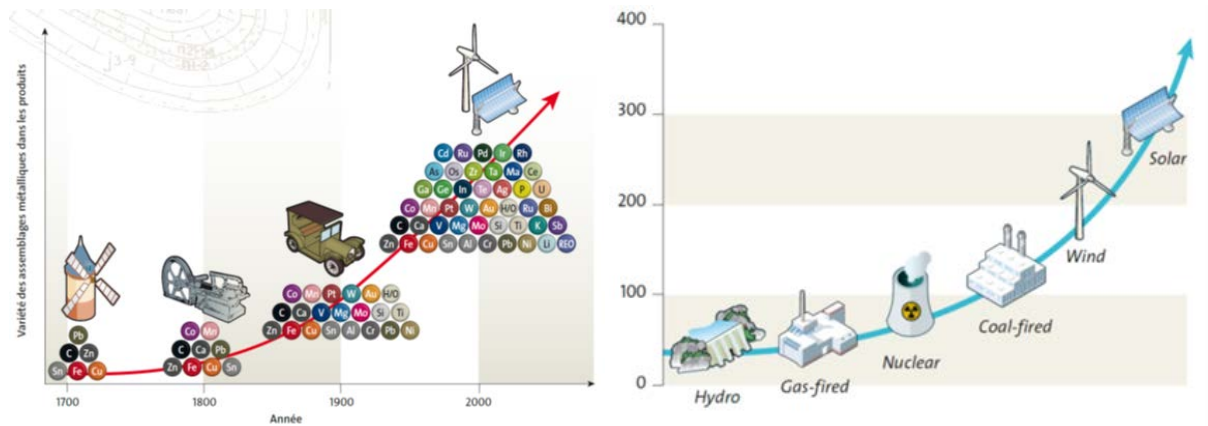
Taux moyens de recyclage de déchets (Sources : Geosciences, 2012)

Le recyclage est une activité soutenue, avec des recherches et des développements basés sur diverses technologies de traitements ; il devrait être la source de croissance économique et de d'emplois futurs. Les évolutions dans le domaine sont néanmoins encore assez lentes se heurtant aux difficultés de collecte physique et de séparation chimique. L'amélioration en efficacité du recyclage, nécessite de l'innovation notamment pour une application à des métaux spécifiques, des métaux précieux et terres rares à faible teneur (mine urbaine), des métaux associés à d'autres phases aux propriétés physico-chimiques très différentes. La conception de l'alliage devrait contribuer en amont à la capacité de recyclage des matériaux et produits. D'une part par la conception d'alliages respectueux de l'environnement et d'autre part par une association intelligente avec d'autres phases, de sorte que le recyclage (ou la réutilisation) sera rendu plus facile. On définirait le concept de « capacité de recyclage des matériaux » ou « recyclabilité » qui pourrait être envisagé dans le cadre de la réglementation avec des normes spécifiques définies par l'AFNOR et l'ISO.

7 milliards d'êtres humains consomment les ressources de la terre. Les enquêtes actuelles prédisent l'épuisement des principaux métaux assez rapidement ; l'argent métallique vers 2020 et l'aluminium vers 2140. La fin du cuivre, métal de base des applications électriques, est prévue pour 2060 et l'épuisement du fer utilisable, qui est l'élément le plus répandu sur terre, est prévu pour 2070. En 2015 la production de nickel était de 2,53 millions de tonnes et de fer de 3,5 milliards de tonnes. Pour illustrer, une voiture est toujours constituée de 75% de métaux combinés avec des plastiques. Les terres rares et les métaux rares sont dominants avec leurs propriétés pour des fonctions spécifiques pour l'automobile, mais aussi pour toute application notamment liée à la transformation énergétique ou à la valorisation énergétique. Les ressources sont alors hautement stratégiques pour

Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

les industries et les sociétés modernes et deviennent un paramètre de fluctuations économiques et géopolitiques. Leur gestion notamment par un recyclage efficace devrait contribuer à stabiliser ces fluctuations.



A) Augmentation de la complexité des assemblages métalliques dans des produits courants.

B) Intensité en acier en tonnes par mégawatt, pour les différentes technologies de production d'énergie.

(Sources : Geosciences, 2012)

Deux exemples illustrent l'ampleur de la tâche. La complexité croissante des produits intégrant de plus en plus de métaux et les besoins croissant en acier pour le domaine des énergies renouvelable. Deux exemples très différents qui demanderont des stratégies de recyclages adaptées pour gérer la complexité et le volume.

Conclusion

La métallurgie est souvent appelée la mère de la science des matériaux ; les céramiques, les verres d'oxyde en tant que matières condensées ont également une longue histoire et avec les alliages métalliques, une prédominance scientifique et technique dans la science des matériaux. On peut souligner le caractère « flexible » des métaux et des alliages métalliques. Les points de fusion sur une large plage de température, la plasticité permettent une grande variété de traitements thermomécaniques et de formage. La flexibilité dans la combinaison chimique conduit à des variétés d'alliages extrêmement grandes, des solutions solides simples aux phases très complexes (verre métallique, quasi-cristal, alliages à haute entropie, mais surtout les aciers, les alliages de titane ...). Les alliages se caractérisent par une grande variété de transformations de phase ; tous ces aspects contribuant à une large gamme de microstructures, de phases et de propriétés. La flexibilité des alliages métalliques est l'une des origines 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 phases (céramique, verre, semi-conducteur). 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 donnée, la modélisation, et les méthodes de l'intelligence artificielle.

3-3 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

[Titre original : The role of Materials in the post-COVID society – A reflection on how Materials will enable solutions for a healthy, safe, and resilient society to achieve a sustainable, stable, and stronger economy, able to respond to citizen's demands]

Éditeurs pour EUMAT : Marco Falzetti, Winfried Keiper, Amaya Igartua, Rodrigo Martins, Nieves Gonzalez, Eric Le Bourhis

Mots Clefs : Matériaux, développement durable, recherche et développement, projets collaboratifs, Europe

L'objectif de ce document est d'analyser le **rôle des matériaux dans une société Post COVID** et résume les positions, solutions potentielles et recommandations de la **communauté Européenne des Matériaux (Alliance for Materials A4M)** pour le programme Horizon Europe.

Le document complet regroupe les « Strategic Research Agendas (SRAs) » existants des différentes parties prenantes matériaux ainsi qu'une **réflexion collective spécifique en relation avec la pandémie COVID19**. Il insiste sur des **propositions pour les activités R&D stratégiques** de la Commission Européenne, les états membres et le Parlement Européen en prenant en compte les priorités « Green Deal » et le plan de relance. Il souhaite contribuer à l'Agenda R&D stratégique en **facilitant collaborations, synergies, et alignement entre partenaires et parties prenantes** Matériaux en Europe voire au-delà.

Ce document est disponible en suivant ce lien : <https://www.fems.org/news/fems-president-contributes-new-report-role-materials-post-covid-society>

Pour plus d'information sur cette initiative, contacter les représentants A4M-EUMAT : Marco Falzetti (falzetti@apre.it), Winfried Keiper (winfried.keiper@keiperconsulting.com) and Amaya Igartua (amaya.igartua@tekniker.es). www.eumat.eu. La SF2M membre de la FEMS est représentée au sein de A4M-EUMAT*

Pour le Livre Blanc SF2M, nous avons extrait du document complet **les recommandations clés pour une future recherche matériaux financée au niveau Européen, national ou régional.**

Constat / situation Post COVID

En Europe, on possède les bases technologiques pour développer des solutions locales plus efficaces mais pour cela on a besoin d'une validation à l'échelle Européenne. Plusieurs solutions matériaux ont un développement très avancé mais ont besoin d'une approche globale pour les transformer en produits sur le marché pour demain. Il nous faut regrouper les forces pour la conception, le développement et l'industrialisation de solutions pour demain et avoir des industries et chaînes d'approvisionnement associées résilientes. **Les matériaux avancés, les fonctionnalités intelligentes, et les applications nouvelles sont au cœur des innovations pour aujourd'hui et demain.**

Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

L'économie Européenne post COVID 19 boostée par des programmes de relance massifs aura besoin d'une croissance économique forte et innovante pour financer ces subventions dans les années à venir.

La communauté des Matériaux est prête à supporter innovation et croissance basées sur des actions R&D :

- Discuter la stratégie COVID 19, en insistant sur le rôle des matériaux qui apparaissent transversalement
- Définir les objectifs et étapes d'un plan R&D Matériaux
- Aider à la coordination des efforts R&D et des investissements au niveau Europe et national

Recommandations/ Propositions :

Alors que l'ère Post COVID se prépare, ce papier met en avant les **10 principales recommandations** de la communauté Matériaux Européenne :

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.
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 garantis 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 ».
9. Le développement de matériaux et surfaces intelligentes, avec de nouvelles fonctionnalités, des capteurs embarqués sera nécessaire pour l'économie circulaire
10. Les sciences et l'éthique scientifique peuvent aider la société à recréer une coopération avec les citoyens et les états.

Les Matériaux, au cœur des enjeux stratégiques Post COVID

Ce document a été rédigé pour affirmer un engagement de la communauté dans une recherche globale, multiculturelle, sociétale pour répondre aux besoins. **Des propositions concrètes ont été formalisées** et sont disponibles de façon détaillées dans le document complet. Elles concernent :

- **Les surfaces**, antimicrobiennes et antivirales pour des équipements médicaux, pour les transports collectifs, pour les systèmes de filtration d'air, la modélisation de leurs comportements...
- **Les matériaux avancés**, en particulier polymères pour une protection antimicrobienne et antivirale pour les hôpitaux et les transports en communs
- **Les méthodes de caractérisation, la modélisation et la gestion des données** : tests rapides et bon marché, développement rapide des nouveaux matériaux, nano fabrication de filtres, modélisation des matériaux pour le développement de vaccins et de médicaments,
- **Les matériaux pour les technologies de la communication et de l'information** : augmentation des capacités de stockage des données, réduction de la consommation énergétique pour le « Cloud Computing »
- **L'économie circulaire** : approvisionnement des matières premières, sécurité, durabilité, réduction de la dépendance en produits stratégiques, exploitation des "mines urbaines", aider les starts-ups du domaine...