

PERSPECTIVE

Les matériaux avancés : quand le futur se conjugue au présent



Les matériaux avancés (MA) sont un peu comme les technologies de l'information et des communications, on les rencontre un peu partout. On les dit plus performants, tant du point de vue physique (conductivité, résistance, propriétés optiques, etc.) que fonctionnel (hydrophobes, biodégradables, etc.). Il s'agit d'un marché en pleine croissance partout sur la planète. Le Québec n'est pas en reste puisque plus de 300 entreprises ont sauté à bord de ce train qui progresse à vive allure. Ce numéro de *Perspective* vous propose une incursion dans un monde qui peut sembler futuriste, mais qui se conjugue bel et bien au présent. À l'heure où l'innovation semble être le maître-mot de la prospérité de chaque économie, le Québec ne peut se passer des matériaux avancés.

De quoi parle-t-on au juste?

Selon le Pôle de recherche et d'innovation en matériaux avancés du Québec (PRIMA Québec), « le matériau avancé peut être défini comme tout nouveau matériau ou matériau significativement amélioré qui permet d'obtenir un avantage marqué du point de vue de la performance (physique ou fonctionnelle) comparativement aux matériaux conventionnels couramment utilisés et auxquels ils se substituent ».

Pour se faire une idée rapidement, rien ne vaut quelques exemples très concrets. Dans le domaine du textile, on peut évoquer des vêtements qui permettent de rafraîchir ceux qui les portent. Dans la construction, on a mis au point du béton qui résiste aux secousses dont la magnitude peut atteindre 9,0 à 9,1 degrés à l'échelle de Richter. Dans l'alimentation, on a conçu un matériau biodégradable, destiné aux emballages des pâtes et des fromages, qui a la capacité de protéger les aliments de l'oxygène et de l'humidité en plus de laisser une empreinte environnementale moins importante lors de sa disposition que les matériaux conventionnels. Pour l'environnement, on peut évoquer des nanotubes de carbone qui pourraient permettre de dessaler l'eau de mer ou encore des procédés pour accroître l'efficacité énergétique. Ce ne sont là que quelques exemples, mais il en existe une myriade.

Les MA sont à l'image de notre époque : le fruit de collaboration et de mélanges croissants. Les frontières sont repoussées et les barrières entre les disciplines (chimie, biologie, environnement, physique, etc.) et toutes leurs sous-composantes sont aplanies. Cette coopération crée des rencontres technologiques que

l'on aurait jugées improbables il n'y a pas si longtemps et elle a permis de mettre au point ce que l'on appelle aujourd'hui les MA.

Les MA : pas une innovation du 21^e siècle

Les MA ne sont pas apparus tout récemment. Une [étude](#) sur le sujet, publiée au Québec en 1992, à l'intention du Comité du Bilan de l'activité scientifique et technologique de la région de Montréal, mentionnait « leur omniprésence, leur polyvalence et leur apport à la compétitivité ». On évaluait à environ une vingtaine, le nombre d'entreprises québécoises œuvrant dans les MA à ce moment-là, alors qu'on estime qu'il y en aurait au moins 15 fois plus en 2017-2018.

Même s'ils ne sont pas tout à fait nouveaux, les MA suscitent une grande effervescence actuellement. On observe un foisonnement d'événements au Québec et partout dans le monde : les colloques, les forums, les conférences et les séminaires se multiplient. Il faut mettre en commun le savoir et les nouveaux développements pour continuer d'avancer et créer des matériaux qui apporteront des solutions à des problèmes concrets. On cherche également à conjuguer économies d'énergie, réduction de l'empreinte environnementale et abaissement des coûts afin que ces innovations se répandent rapidement.

PRIMA Québec présente trois catégories de matériaux : ceux qualifiés « de base », les produits finis et semi-finis, et, enfin, les procédés et l'instrumentation (encadré à la page 2). Parmi les produits de base, il y a les polymères, les élastomères et les membranes. On retrouve également les nanomatériaux

François Dupuis, vice-président et économiste en chef • Joëlle Noreau, économiste principale

Desjardins, Études économiques : 418-835-2450 ou 1 866-835-8444, poste 5562450 • desjardins.economie@desjardins.com • desjardins.com/economie

NOTE AUX LECTEURS : Pour respecter l'usage recommandé par l'Office québécois de la langue française, nous employons dans les textes et les tableaux les symboles k, M et G pour désigner respectivement les milliers, les millions et les milliards. MISE EN GARDE : Ce document s'appuie sur des informations publiques, obtenues de sources jugées fiables. Le Mouvement des caisses Desjardins ne garantit d'aucune manière que ces informations sont exactes ou complètes. Ce document est communiqué à titre informatif uniquement et ne constitue pas une offre ou une sollicitation d'achat ou de vente. En aucun cas, il ne peut être considéré comme un engagement du Mouvement des caisses Desjardins et celui-ci n'est pas responsable des conséquences d'une quelconque décision prise à partir des renseignements contenus dans le présent document. Les prix et les taux présentés sont indicatifs seulement parce qu'ils peuvent varier en tout temps, en fonction des conditions de marchés. Les rendements passés ne garantissent pas les performances futures, et les Études économiques du Mouvement des caisses Desjardins n'assument aucune prestation de conseil en matière d'investissement. Les opinions et les prévisions figurant dans le document sont, sauf indication contraire, celles des auteurs et ne représentent pas la position officielle du Mouvement des caisses Desjardins. Copyright © 2018, Mouvement des caisses Desjardins. Tous droits réservés.

LA CATÉGORISATION DES MATÉRIAUX AVANCÉS SELON PRIMA QUÉBEC

Matériaux de base :

- ▶ Polymères, élastomères et membranes;
- ▶ Nanomatériaux;
- ▶ Métaux, alliages et poudres métalliques;
- ▶ Composites et céramiques;
- ▶ Revêtements fonctionnels, enduits, couches minces;
- ▶ Biomatériaux;
- ▶ Semi-conducteurs;
- ▶ Béton et bois d'ingénierie;
- ▶ Verre;
- ▶ Fibres naturelles et fibres haute performance.

Produits semi-finis :

- ▶ Composantes de transport;
- ▶ Systèmes et sous-systèmes électroniques, optiques et électriques;
- ▶ Composantes électroniques, optiques et électriques;
- ▶ Matériaux biocompatibles;
- ▶ Emballages;
- ▶ Textiles intelligents;
- ▶ Autres produits semi-finis.

Procédés et instrumentation :

- ▶ Fabrication additive;
- ▶ Instruments de caractérisation;
- ▶ Modélisation et simulations;
- ▶ Nanofabrication.

Sources : E&B Data et PRIMA Québec

(par ex. : les nano-objets qui peuvent être utilisés sous forme de poudre, de liquide ou de gel), ensuite les métaux, alliages et poudres métalliques. Les composites et les céramiques en font partie, de même que les biomatériaux (par ex. : les bioplastiques et les bactériophages) pour ne nommer que ceux-là.

Dans les produits semi-finis, on retrouve notamment les composantes de transport (par ex. : les trains d'atterrissage), les systèmes et sous-systèmes électroniques, optiques et électriques (par ex. : les caméras miniaturisées), les matériaux biocompatibles (par ex. : les dispositifs de réparation de tissus), les emballages et les textiles intelligents (par ex. : les uniformes avec des puces RFID (Radio Frequency Identification), les manteaux chauffants, etc.).

En ce qui a trait aux procédés et à l'instrumentation, il est question de la fabrication additive (3D), des instruments de caractérisation (par ex. : les technologies biomédicales, les tests microbiologiques), de la modélisation et des simulations ainsi que de la nanofabrication.

Pourquoi choisir les MA?

Pourquoi se tourner vers les MA? En fait, ces matériaux et ces procédés présentent des propriétés qui sont très recherchées. Au chapitre des performances physiques, certains matériaux sont de meilleurs conducteurs électriques, d'autres offrent une résistance mécanique supérieure, une plus grande dureté ou une efficacité accrue. D'autres, encore, présentent des propriétés optiques ou magnétiques. Ces qualités ne sont pas mutuellement exclusives et peuvent parfois s'additionner.

Les MA sont utiles notamment pour leurs « performances fonctionnelles ». Les MA utilisés comme revêtements peuvent être hydrophobes. Certains matériaux sont autoréparants, d'autres biodégradables, d'autres peuvent servir comme revêtement antimicrobien, pour ne nommer que ceux-là.

Par ailleurs, les MA ont une propension à s'immiscer dans toutes les sphères de l'activité économique et humaine tout comme l'ont fait les technologies de l'information et des communications.

Le Québec et les MA

Le [portrait](#) le plus récent des MA au Québec a été présenté en juin 2018 par PRIMA Québec¹. On compte environ 340 entreprises québécoises actives dans les MA en 2017-2018. Elles peuvent développer, produire ou intégrer des MA dans leur ligne de production. Certaines sont actives dans la conception et la production « d'équipements ou de systèmes associés à la production et/ou à la caractérisation des MA ». La répartition, selon la taille des entreprises, est la suivante : environ 30 % comptent entre 1 et 9 employés, 36 % entre 10 et 99, 29 % entre 100 et 999 et le reste 1 000 employés et plus.

On dénombre environ 33 000 employés au Québec, dont la grande majorité se trouve dans des entreprises de 100 à 999 employés. La croissance de l'emploi a été de 1 % pour la période de 2015 à 2017. Le chiffre d'affaires des entreprises associées aux MA a été de 10,6 G\$ l'an dernier. Toutefois, cette donnée prend également en compte les autres activités de ces entreprises qui ne sont pas nécessairement liées directement aux MA.

Le développement des MA ne se limite pas aux entreprises. Le Québec compte environ 500 chercheurs qui travaillent sur les MA dans les centres de recherche. Le coup de sonde de PRIMA Québec auprès des PME a permis de savoir ce qui amenait les entreprises à faire appel aux centres de recherche

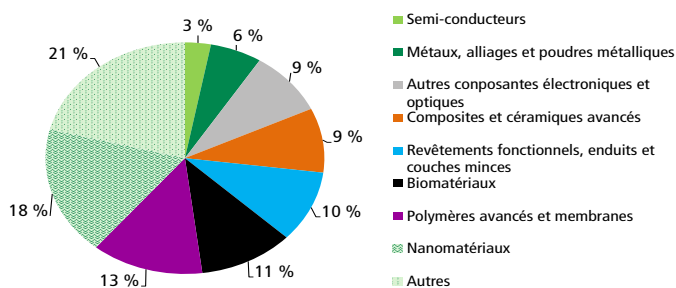
¹ PRIMA Québec, en collaboration avec le ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MÉSI) et Innovation, Sciences et Développement économique (ISDE) Canada.

publics. Ainsi, 71 % des répondantes ont indiqué la nécessité de recourir à un équipement précis. Une majorité de PME (56 %) ont expliqué qu'elles recherchaient, notamment, une expertise ciblée. Parmi les répondantes, 44 % ont évoqué le manque de ressources financières pour se procurer l'équipement requis, ce qui les avait amenées à se tourner vers les centres de recherche publics. Enfin, une autre raison d'importance a été mentionnée par 36 % des PME, soit l'absence de laboratoire interne.

Comment l'aide apportée par les chercheurs s'est-elle avérée utile? Toujours selon l'enquête réalisée pour le compte de PRIMA Québec, la clientèle industrielle a trouvé une solution à un problème dans une proportion de 73 %, a développé un nouveau produit (71 % des répondants) et mis au point un nouveau procédé (58 % des répondants).

On peut se demander dans quels secteurs les chercheurs des centres de recherche publics sont les plus actifs en ce qui a trait aux MA. Le graphique 1 permet de voir que les activités de recherche sont diversifiées. La plus grande catégorie est celle qui regroupe un ensemble de produits (21 %), suivie par les nanomatériaux (18 %), les polymères avancés et les membranes (13 %), les biomatériaux (11 %), les revêtements fonctionnels, enduits et couches minces (10 %), puis d'autres secteurs dans des parts respectives inférieures à 10 %.

GRAPHIQUE 1
Les secteurs où les chercheurs de centres de recherche publics sont actifs dans les matériaux avancés sont diversifiés



Sources : E&B Data et PRIMA Québec

Des besoins grandissants

À l'heure actuelle, rien ne laisse présager que l'élan des MA s'essouffera à brève échéance, au contraire. Plusieurs tendances semblent porter le mouvement partout sur la planète. Parmi celles-ci, il y a entre autres la question énergétique qui est au cœur du développement économique et humain. D'une part, on observe une demande mondiale toujours croissante. D'autre part, on vise de plus en plus la production d'une énergie propre et renouvelable. C'est dans ce contexte que naissent les idées telles la production de nouveaux types de panneaux solaires, la création d'alliages pour réduire le poids des véhicules (sur les

routes, dans les airs, sur les mers, sur les rails) ou, encore, la mise au point de superconducteurs pour le transport de l'électricité. Les préoccupations croissantes pour l'environnement sont autant de défis auxquels les MA peuvent apporter des solutions. La question de l'eau, sa qualité et sa rareté a conduit, par exemple, à la mise au point de biomatériaux pour la filtration et à la conception de membranes pour la désalinisation.

Toujours au chapitre de l'environnement, l'utilisation plus raisonnée et plus respectueuse des ressources non renouvelables requiert une action. Elle nécessite la mise au point de matériaux de remplacement et le déploiement de procédés moins dommageables lors de l'extraction des matières premières. De même, les changements climatiques ont mis l'imagination au travail. C'est ainsi que des membranes de séparation de CO₂ ont été créées et qu'une foule de procédés pour caractériser la qualité de l'air ont vu le jour. Toutefois, le travail n'est pas terminé et la bataille est loin d'être gagnée. Voilà pourquoi la création de nouveaux MA viendra en appui aux procédés et aux matériaux développés à ce jour.

L'accroissement démographique, l'urbanisation galopante, la densification des villes et la nécessité de garder les gens en santé sont au nombre des impératifs auxquels il faut répondre un peu partout sur le globe. Ainsi, les MA sont appelés en renfort pour imaginer des solutions qui permettront de concilier ces tendances. À titre d'exemple, on peut nommer la mise au point de surfaces antimicrobiennes et l'élaboration de nouveaux matériaux de construction, offrant une meilleure résistance.

Le besoin accru de sécurité, que ce soit alimentaire (qualité, salubrité, quantité), pour les personnes (citoyens, policiers, pompiers, militaires, etc.), les entreprises (secrets industriels, données sensibles, accès physique, etc.) ou les gouvernements (information sur les citoyens, processus de décision, gestion, finances publiques, etc.), requiert des solutions qui peuvent faire appel aux MA. La conception d'outils de détection et de traçabilité y a une place de choix. On peut penser aux composants électriques imprimables ou flexibles, aux équipements d'imagerie médicale ou, encore, aux capteurs, pour ne donner que ces exemples.

Toutes ces tendances cohabitent et nécessitent des solutions. Les MA permettent de répondre plus efficacement en regard des matériaux plus traditionnels. Ils y arrivent souvent plus rapidement et parfois même à plus long terme.

Une demande qui s'exerce aussi au Québec

Selon le portrait dressé par PRIMA Québec, la demande est bien présente ici aussi. De plus, des perspectives intéressantes se profilent. On pense, notamment, à l'énergie, au transport, à l'environnement, à la santé, à la construction, aux technologies d'information et des communications, à la défense et à la sécurité et à bien d'autres domaines.

À l'heure actuelle, on observe que les capteurs, les métaux et les alliages ainsi que les polymères semblent être les favoris. Selon les entreprises qui ont répondu au sondage réalisé en 2017, les secteurs offrant le potentiel le plus prometteur seraient, notamment, ceux de la défense, de la fabrication avancée et du transport.

Bien qu'une demande pour les MA soit présente ici, les entreprises québécoises du secteur exportent leurs produits et services dans une proportion estimée à 85 %, selon l'Enquête sur les entreprises du secteur des matériaux avancés. « Le Québec n'est pas un joueur majeur à l'échelle planétaire, mais il semble que son intégration à certains réseaux internationaux (niveau d'exportation élevé) suggère qu'en termes d'extrants, le Québec affiche une industrie compétitive », selon PRIMA Québec.

Qu'est-ce qui pourrait freiner l'essor des entreprises québécoises? Du côté de la demande, la méconnaissance des MA pourrait ralentir leur introduction dans les entreprises de tous les secteurs d'activité. Le manque d'information et le coût élevé de certains MA, présenteraient aussi des obstacles.

Du côté de l'offre, l'accès au financement est évoqué par environ le tiers des entreprises sondées. La main-d'œuvre peut poser un problème en raison des connaissances requises et de la formation académique nécessaire pour travailler au sein des équipes qui mettent au point des MA. On a évoqué précédemment que le manque d'information pouvait nuire du côté des acheteurs. Elle va de pair avec les difficultés de commercialisation des producteurs d'ici. Par ailleurs, l'ouverture commerciale du Québec expose les entreprises à la concurrence étrangère qui dispose parfois de moyens financiers considérables leur permettant d'occuper une part dominante du marché. On n'a qu'à penser à des géants comme la société 3M pour illustrer le type de bataille qui peut se livrer.

Enfin, parmi les défis que doivent rencontrer les entreprises qui développent des MA, il faut retenir la reconnaissance de la propriété intellectuelle par les brevets. Au chapitre de la production, il faut affronter les difficultés que présente le passage du prototypage à l'échelle industrielle.

Un pari sur l'avenir

Le marché des MA semble promis à un bel avenir. Les pronostics pour le marché mondial sont très optimistes même s'ils diffèrent en fonction de la source consultée (tableau 1). Selon les firmes d'analyse Transparency Market Research et Research Nester, le marché mondial aura plus que doublé d'ici 2024 pour atteindre plus de 100 G\$ US. De son côté, BCC Research, prévoit qu'il aura atteint environ 128 G\$ US d'ici 2022, soit dans quatre ans à peine. Peu importe la référence retenue, on évalue à plus de 10 %, la hausse annuelle du marché mondial des MA pour les prochaines années. Cette cadence est nettement supérieure à la croissance du PIB du secteur de la fabrication et à celle attendue dans les services dans les économies avancées.

TABLEAU 1

Marché mondial pour les matériaux avancés : quelques estimations

SOURCE	MARCHÉ ACTUEL (G\$ US)	MARCHÉ FUTUR (G\$ US)	TAUX DE CROISSANCE ANNUEL MOYEN (%)
Transparency Market Research (avril 2018)	2015 : 42,8	2024 : 102,5	10,4
BCC Research (août 2017)	2017 : 68,4	2022 : 128,1	13,3
Research Nester (juillet 2018)	2016 : 42,9	2024 : 101,0	11,6

Sources : Transparency Market Research, BCC Research, Research Nester et Desjardins, Études économiques

Les MA suscitent beaucoup d'intérêt en ce moment. Il faut dire qu'ils sont porteurs de promesses. Avec les développements considérables qu'ils ont connus au cours des ans, on ne voit pratiquement pas de limite à leurs possibilités. La demande est là, l'offre aussi. Le Québec a déjà sauté dans ce train en marche. Les chercheurs sont au rendez-vous et les entreprises d'ici sont déjà sur les marchés étrangers. Le Québec ne peut se passer d'un atout semblable?

Joëlle Noreau, économiste principale