

POINT DE VUE

Il faut sauver la métallurgie !

Alors qu'elle est étroitement liée aux industries classiques et de pointe, la métallurgie française est en déclin. Un sursaut de son enseignement et de la recherche s'impose.

Yves BRÉCHET

Pourquoi se préoccuper de la métallurgie, parfois perçue comme une science du passé, une industrie d'un temps révolu, un héritage encombrant des maîtres de forges ? Pourquoi s'inquiéter de la désaffection des étudiants, des ingénieurs et des chercheurs pour ce domaine ? Certainement pas par nostalgie : comme l'illustre le récent rapport de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies, l'avenir industriel de la France en dépend en grande partie, et cette discipline est tout sauf archaïque.

Le rôle central de la métallurgie dans de nombreux secteurs industriels est évident. En France, ce domaine est associé à 1,8 million d'emplois, dont 500 000 directs. Les progrès du secteur automobile, de l'industrie nucléaire, de l'aéronautique, de la pétrochimie sont tributaires d'une meilleure maîtrise des matériaux métalliques. La diminution des émissions de gaz à effet de serre passe par l'allègement des véhicules, par l'augmentation de la température de fonctionnement des moteurs, par le développement d'un nucléaire durable.

Le recyclage des métaux, la sécurité dans les transports, le développement de prothèses orthopédiques et autres dispositifs médicaux implantés font tous aussi appel au métallurgiste. Même la miniaturisation des circuits intégrés, bien avant de rencontrer le « mur quantique », se heurtera à des problèmes métallurgiques, notamment l'endommagement des connexions.

Ce vaste secteur est ainsi stratégique pour notre pays, en termes d'activité indus-

trielle, d'exportations, d'emplois. Or il souffre d'asthénie : les étudiants le boudent, les professeurs s'en éloignent et nombre de laboratoires concernés maigrissent (une division par trois en 15 ans au CEA ou à l'ONERA) ou disparaissent. Les grandes écoles les plus prestigieuses, de même que les universités, ont abandonné leurs enseignements en métallurgie.

La désaffection des étudiants pour cette voie est exacerbée par une image historique faussée, par l'éloignement vis-à-vis des sciences et des technologies, par la désindustrialisation de notre pays et par l'absence de grands projets industriels mobilisateurs.

IL EST URGENT DE RÉINSTALLER, dans les universités et les grandes écoles, des formations de métallurgie.

La métallurgie est pourtant un champ scientifique et technique en plein renouvellement. Elle est au confluent de diverses disciplines (mécanique, physique et chimie), à la frontière entre recherche fondamentale et recherche appliquée. C'est un domaine où les besoins industriels suscitent des études fondamentales qui, à leur tour, ouvrent la voie à de nouvelles applications.

L'étude expérimentale bénéficie désormais de grands instruments (rayonnement synchrotron, réacteurs à neutrons...) et de nouvelles techniques (microscopie à champ proche, sonde tomographique à résolution atomique, techniques de corrélation d'images...). Quant à la modélisation, elle associe simulations numériques intensives

et élaboration de modèles théoriques à la fois pertinents et suffisamment simples pour être éclairants. Quelle est la finalité de ces études ? Entre autres, comprendre les liens entre la microstructure des matériaux métalliques, les traitements qu'on leur fait subir et leurs propriétés à l'échelle macroscopique. Cette compréhension, encore loin d'être satisfaisante, est essentielle pour évoluer vers la conception « sur mesure » de nouveaux métaux.

La métallurgie est étroitement liée à l'étude de la matière condensée. Elle est une science du changement d'échelle. Pour comprendre comment l'histoire thermomécanique d'un alliage conditionne sa microstructure et ses propriétés, il faut parcourir dans le temps plus de 15 ordres de grandeur (de la vibration des atomes aux durées de traitement thermique), et dans l'espace aller du nanomètre au mètre. Ces changements d'échelle dans l'organisation des atomes ou dans la dynamique des défauts posent des questions fondamentales de thermodynamique, de physique statistique, de mécanique.

Soulignons aussi que la métallurgie porte sur des systèmes maintenus loin de l'équilibre thermodynamique, là où toute la richesse de la physique non linéaire se manifeste. Et régulièrement, la physique fondamentale rencontre la métallurgie, qu'il s'agisse des phénomènes de solidification et plus généralement des changements de phase, de la chimie des surfaces, de la plasticité et de la rupture, du rôle joué par les défauts, des propriétés électroniques ou magnétiques, etc.

En science des matériaux, dont elle est par ailleurs le socle historique, la métallur-

gie joue ainsi un rôle clef : terrain d'expérimentation pour les nouvelles méthodes et les nouveaux concepts, corpus expérimental bien maîtrisé pour tester la validité des modèles. Négliger cette compétence aurait pour conséquence non seulement le déclin d'une part majeure de notre industrie, mais aussi de nous priver des outils nécessaires pour inventer celle de demain. Cela alors que des pays tels que la Chine, l'Inde – ou le Japon, qui développe des aciers et alliages pour la génération IV des réacteurs électronucléaires –, montent en puissance.

Comment enrayer le déclin français ? L'enseignement et la recherche ont un rôle essentiel à jouer. Un atout majeur de la métallurgie dans notre pays est la liaison étroite des chercheurs du domaine avec le monde industriel. Il reste encore quelques équipes de très bon niveau, reconnues internatio-

nalement, à partir desquelles peut se reconstruire un tissu performant de chercheurs. Il est urgent de réinstaller, dans les universités et les grandes écoles, des formations de métallurgie en tant que discipline constitutive du cursus d'un ingénieur.

Une fois ce besoin affiché, il faut se donner les moyens d'y répondre : recrutement d'enseignants-chercheurs, mise en place d'un système de « formation des formateurs ». L'enseignement devra aussi s'appuyer sur des contacts étroits avec le monde industriel : création de chaires industrielles, accueil à temps partiel de chercheurs de l'industrie, ouverture vers les petites et moyennes entreprises ou industries... Et des « pôles d'excellence » associant le monde académique, les grands instituts et le monde industriel sont à identifier, les actions faisant l'objet d'appels d'offres spé-

cifiques dans les organismes financeurs de la recherche.

Le temps presse. Si la métallurgie de notre pays disparaît, la physique de la matière condensée y serait grandement appauvrie. Et, du point de vue des applications, ce que la métallurgie rend possible deviendra impossible à ceux qui l'auront abandonnée. ■

Yves BRÉCHET, membre de l'Académie des sciences et de l'Institut universitaire de France, est professeur à l'Institut national polytechnique de Grenoble.

Sous la direction de A. Pineau et Y. Quéré, *La métallurgie, science et ingénierie*, Rapport sur la science et la technologie n° 31 de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies, EDP Sciences, 2011.



Réagissez en direct à cet article sur www.pourlascience.fr

ÉCONOMIE

L'immolation du petit vendeur...

... a déclenché la chute de Ben Ali. Cet « effet papillon », qui résulte des conditions de vie désespérantes (chômage et prix accrus), peut en annoncer d'autres.

Ivar EKELAND

Vous rappelez-vous de la théorie du chaos ? L'histoire du papillon qui, par un battement d'ailes, déclenche un cyclone dans les Antilles quelques mois plus tard ? On peut dorénavant la remplacer par l'histoire du petit vendeur à la sauvette de Sidi-Bouزيد dont le suicide provoque la chute de Ben Ali en Tunisie, peut-être celle de Moubarak en Égypte, sans que l'on sache où s'arrêtera la cascade des dominos. Ce qui n'aurait dû être qu'un incident de police banal et vite oublié dans une ville de province risque d'entraîner la libération des peuples arabes et de bouleverser l'équilibre géopolitique de la planète.

En fait, l'histoire du papillon est plutôt une fable. Il est vrai qu'à l'échelle du batte-

ment d'ailes, les courants d'air peuvent être chaotiques, c'est-à-dire croître exponentiellement, mais ce qui se passe quand ils grandissent en intensité et interfèrent est



beaucoup moins clair. Après tout, s'il n'y avait pas de papillons, il y aurait quand même des cyclones dans les Antilles. Ce que dit la fable, c'est que si l'on considère un cyclone donné, Katrina par exemple, qui a dévasté la Nouvelle-Orléans, il est impossible de lui assigner une cause digne de l'ampleur de la catastrophe : à chaque instant naissent dans le golfe du Mexique de petites perturbations qui ont vocation à devenir des cyclones dévastateurs, mais à l'échelle de nos observations, il est impossible de prévoir lesquelles y arriveront. En revanche, si l'on considère le phénomène cyclonique dans son ensemble, il est assez bien compris et bénéficie d'une certaine régularité. Les causes et les saisons varient suivant