

Notes de lecture sur le rapport sur la métallurgie de l'académie des sciences

Editions de Physique - janvier 2011

N.B. : J'ai introduit quelques remarques dues à des recherches personnelles logiques en lien avec le traitement des matériaux et les traitements thermiques.

En 2004, la métallurgie concerne en France 1.800.000 emplois dont 220.000 cadres dans 45.000 entreprises avec 420 milliards de chiffre d'affaires.

La dégradation est due à la désindustrialisation et la décentralisation. La situation est mauvaise, elle peut devenir catastrophique, il y a urgence. Il faudrait par exemple créer une mission d'étude et d'application associant industriels, chercheurs et enseignants.

La métallurgie et son étude sont à l'origine de catastrophes (Titanic, Liberty ships...) ou de réussites notables (rail du TGV à Hayange, viaduc de Millau...) et de recherches à faire et à réussir (piles à hydrogène...).

De 2000 à 2009, la production mondiale d'acier est passée de 800 à 1350 millions de tonnes, la production française est restée stable à 18 MT. Avec les évolutions depuis les années 80, aujourd'hui 80 % de la production n'est pas contrôlée par l'Etat. Les rails sont fabriqués par Tata, entreprise indienne, les cuves des centrales nucléaires par ArcelorMittal, indien aussi et les aciéries ferment les unes après les autres. Cela alors que la production devrait doubler d'ici 2050.

Pour l'aluminium, les tendances sont les mêmes : régression française (0,45MT en 2003, 0,39 MT en 2008) alors que la production mondiale est de 40 MT.

Les effectifs dont la branche métallurgie ont évolués :

1983	1993	2008
2.336.000	1.752.000	1.572.000

Evolution des entreprises :

Unimétal → Ispat → Mitalsteel donc l'Inde, Mital, 78 milliards de dollars de revenus en 2010, Mital est la 5^{ème} fortune mondiale avec 5 milliard d'€ en 2010.

Ascométal et Arcelor → groupe Lucchini → Severstal donc la Russie, 13 milliards de dollars de revenus en 2009

Péchiney → Alcan → Rio Tinto donc l'Angleterre et l'Australie, 44 milliards de dollars
Inde, Australie, Italie, Russie, USA sont les pays des nouveaux groupes industriels.

La fermeture de centres de recherche et la diminution du nombre d'universitaires et de chercheurs aura inévitablement des conséquences. Le nombre de métallurgistes diminue et ces derniers vieillissent.

La place de l'enseignement de la métallurgie régresse par exemple dans les grandes écoles.

A l'opposé, la recherche se développe dans les pays émergents : Chine, Japon, Inde...

Les pertes de compétences vont avoir des effets dramatiques et accentueront la dépendance.

La métallurgie a un passé plusieurs fois millénaire comme l'astronomie. Elle fait partie de la science des matériaux.

Son succès est dû à l'abondance des métaux dans la croûte terrestre, leur grande malléabilité, la facile modification des propriétés par traitements thermomécaniques, la maîtrise des

technologies et leur faible coût, les caractéristiques physiques de conduction thermique et électrique ainsi que le comportement magnétique.

Science moderne, elle a la particularité d'être en lien direct avec les questionnements pratiques et donc de lier recherche publique, recherche industrielle et pratique des PMI-PME en lien donc avec la vie économique.

Les électrons libres des métaux et les défauts des cristaux sont à la base de l'explication de bien de leurs propriétés. Il faut revivifier la recherche dans ces domaines, développer les écoles d'été et les stages dans les laboratoires à l'étranger.

La métallurgie associe la connaissance, du microscopique et du macroscopique, qui permettent en particulier d'expliquer les ruptures, les qualités et les défauts des matériaux. La chimie accompagne la métallurgie de l'élaboration à la finalisation du matériau voire à sa réutilisation. Beaucoup de travail est à faire dans les domaines de la thermodynamique en particulier à haute température. On manque de données concernant les changements de phases, la corrosion...

Il faudrait développer une métallurgie physique numérique permettant d'être prédictive.

La métallurgie d'élaboration concerne 3 grands domaines : les filières sidérurgiques, la filière de l'aluminium et des métaux non-ferreux de grande diffusion, la métallurgie spéciale concernant le titane, le zirconium, les aciers spéciaux...

Ses enjeux sont : la fluctuation des prix des matières premières et la prise en compte du recyclage, la maîtrise des produits particulièrement pour l'aéronautique, la réduction des gaz à effets de serre, la nécessité de faire des économies d'énergie. Il faut donc prendre à bras le corps le problème de la réduction de la pollution et de la réduction des consommations d'énergie. La question de l'élaboration de l'aluminium est de ce point de vue exemplaire. Des chercheurs de 1^{er} plan travaillent à Lausanne et à Nancy sur le contrôle des alliages.

La métallurgie industrielle est en partenariat avec la recherche scientifique. Y compris les entreprises concurrentes travaillent ensemble. Usinor le fait dans le cadre des projets :

- ULSAB ultra light steel auto body www.autosteel.org
- ULSAC ultra light steel auto closures
- ULSAS ultra light auto suspensions
- ULCOS ultra low carbon dioxyde steelmaking www.ulcos.org

Pechiney avec Thyssen et Nippon steel pour le développement de nouveaux produits.

Il y a des partenariats mais les décisions s'éloignent de la France et de l'Europe.

De ce point de vue, De Wendel est symbolique avec les forges d'Hayange créées au 18^{ème} siècle. La société industrielle s'est transformée en Wendel Investissement.

L'industrie métallurgique en France compte 45.000 entreprises, 1.800.000 salariés dont 21 % de cadres et réalise un chiffre d'affaire de 420 milliards d'euros. (chiffres UIMM)

- La transformation des métaux, 1^{ère} transformation, fonderie et travail des métaux, comporte 500.000 salariés, des grands groupes et de nombreuses PMI.
- Le domaine des industries de conception, d'intégration et de fabrication de produits (assemblage, formage, traitements et revêtements...). C'est un domaine lié à l'aval, automobile, aéronautique, ferroviaire, bâtiment, naval, défense...)

Le paysage économique et industriel s'est profondément modifié depuis 1973 avec une accélération depuis 2003. Externalisation signifie pertes de compétences et profils multiculturels... De plus, la situation des petites entreprises est fragilisée.

Dans le traitement thermique, on relève essentiellement 2 groupes qui y consacrent leur activité :

- Bodycote S.A., filiale du groupe britannique Bodycote International Plc (fondé en 1923 spécialisé dans le textile puis dans la métallurgie à partir des années 1980) : 170 sites dans 27 pays dont 29 sites en France soit de l'ordre de 30 personnes par site et 1000 salariés en France. Spécialisé pour le traitement de surface, la projection thermique... et d'autres services (brasage aéronautique, traitements thermiques, expertise et caractérisation). Revenus 2009 : 435 millions de livres.
- Oerlikon Balzers Coating France (5 sites, 200 personnes), filiale du groupe international Oerlikon Balzers (Liechtenstein) (80 sites dans 32 pays) : installations de dépôts métalliques notamment par PVD et traitement thermiques sur outillages. En France, c'est anciennement Balzers fondé en 1946 pour la réalisation de couches minces et qui développe les PVD à partir de 1974.
- HEF Groupe (siège à Andrézieux-Bouthéon ; projection thermique, dépôts PVD). En France, HEF, c'est 11 sites et environ 300 personnes pour 34 sites dans le monde et 1000 salariés.
- On peut plus largement noter les groupes SATMA PPC (Goncelin), Saint-Gobain Coating Solutions, etc...
- On peut aussi d'autres groupes et entreprises : groupe Eramet qui a absorbé Aubert et Duval, Thermi Lyon, Thyssen Krupp, par exemple...

Finalement, le traitement thermique en France concernerait 3 grands groupes et 1500 personnes environ hors les grosses entreprises qui ont leur propre secteur du Traitement Thermique intégré (Renault, Peugeot PSA, EDF, GDF, RRF ?).

La mise en forme du métal est passée d'une fabrication empirique à une étude systématique et prédictive.

Dans le transport aéronautique, il faut rechercher des métaux alliages plus légers et plus fiables en particulier à haute température. On utilise l'aluminium et ses alliages, des superalliages à base nickel, des alliages de titane. En France, dans les années 70 se développe Airbus et EADS. La recherche s'internationalise début 2000.

Les alliages d'aluminium sont concurrencés par des alliages à forte teneur en lithium et des composites à matrice polymère. La recherche a permis d'élaborer des alliages aluminium-cuivre-lithium-argent. Les alliages aluminium-titane permettent de faire concurrence aux céramiques utilisées à haute température. Des superalliages, aciers ou alliages d'aluminium ou de titane ont de très bonnes caractéristiques mécaniques.

Le transport ferroviaire est amené à encore se développer. Il utilise des aciers dont la durabilité, la sécurité, l'émission sonore sont encore à améliorer.

Le transport routier se fait avec de nouveaux aciers et des alliages d'aluminium. C'est un marché majeur pour l'industrie métallurgique. Les polymères sont plutôt réservés à l'habillement. L'utilisation du titane et du magnésium sont encore marginaux. Les techniques d'assemblage et de mise en forme sont aussi en évolution : soudage laser, fiction, emboutissage...

Face au Japon, l'Allemagne, le Canada, la Chine, la France est encore bien placée mais sa position s'érode.

Le transport maritime emploie 40.000 personnes entre Saint-Nazaire, Brest, Lorient et Cherbourg. Les coques sont des tôles d'acier de moins de 20 mm d'épaisseur. La transition ductile fragile est surveillée (rupture à la flexion minimale de 41 J à -60°C). Les aciers ont peu de carbone et des grains fins afin d'assurer une bonne soudabilité et de bonnes caractéristiques mécaniques ainsi qu'une bonne résistance à la corrosion. Les sous-marins répondent à des prouesses technologiques avec des aciers à haute limite élastique HLE (800 à 1000 MPa). Les alliages d'aluminium ne sont utilisés que pour quelques yachts. Les méthaniers, environ 350 dans le monde, utilisent des sphères en aluminium, et surtout en Invar M93 (fer-30% de nickel) ou en acier inox. L'usine d'Imphy d'Arcelor Mital contrôle 95 % du marché mondial. L'Invar a été découvert par Charles-Edouard Guillaume en 1896, seul prix Nobel de physique attribué à un métallurgiste en 1920 ! Il réduit les contraintes entre la température ambiante et le méthane liquide à -160 °C.

Dans l'industrie nucléaire, la nature des matériaux est cruciale : U, Pu, Zr, Mg, Be, Hf... ainsi que la taille de ce qui est à construire. Le comportement à long terme des matériaux est aussi fondamentale pour la sécurité et la durée de vie importante vu le coût. L'effet des irradiations est à étudier avec attention, fragilité, corrosion sous contrainte...

Les déchets radioactifs peuvent être transmutés. Des expériences devaient se faire dans Superphénix mais le gouvernement a décidé de stopper le projet. Le stockage demande des matériaux exceptionnels non encore trouvés.

On utilise les aciers ODS durcis par dispersion d'oxydes, aciers ferritiques renferment beaucoup de chrome et de l'oxyde d'yttrium (Y_2O_3).

Pour l'énergie solaire, il serait nécessaire de redévelopper l'industrie du cuivre.

Les piles à combustibles PAC, PEMFC, SOFC sont à développer.

Faible effort en ce qui concerne l'énergie éolienne et participation de St-Gobain aux recherches.

Les matériaux magnétiques, alliages à base de fer, nickel, cobalt, ont des qualités, coercivité en particulier, très liées à leur microstructure.

L'enregistrement magnétique est lié aux alliages CoCrPt déposés par pulvérisation sur une couche de FeNi.

Les aimants RFeB a contribué à la miniaturisation des moteur électriques pour les vélos par exemple.

Demande en logements des pays émergents et contraintes climatiques caractérisent les secteurs des travaux publics et de la construction. Elle utilise l'acier et l'aluminium pour les finitions (cadres de fenêtre...) et le cuivre pour les canalisations. L'allègement des structures associe les aciers de haute résistance au béton (exemple de Histar pour la tour de la fédération à Moscou avec un traitement thermique en ligne QST). Sont concernés aussi les câbles de ponts ou de téléphérique et palplanches qui stabilisent les berges des rivières. ArcelorMital a au Luxembourg la seule usine de palplanches.

Associé à l'incendie du collège Pailleron, il y a peu de structures en acier en France. Le CTICM doit être utilisé pour avancer en ce domaine.

Le métal et la défense ont des liens historiques. Les épées du temps des croisades, les canons, les sous-marins, les avions, les projectiles... La recherche de propriétés extrême est importante.

Les biomatériaux métalliques demandent une recherche spécialisée. Aciers inoxydables 316L, alliages de titane, alliages à mémoire de forme titane-nickel, alliages cobalt-chrome présentant une grande résistance à l'usure.

L'emballage est un marché de 17 milliards d'€ dont la part du métal est de 13 %. L'essentiel est dans l'alimentaire constitué d'acier et d'aluminium. L'acier est recouvert d'un film d'étain, c'est le fer blanc. On utilise aujourd'hui des tin-free avec des couvertures en titane. Le recyclage est important : l'étain est vaporisé, l'aluminium trié par courants de Foucault. On recherche des épaisseurs maximum de 0,1 mm.

Métallurgie des outils fousseurs, coupe, moules, formage... L'Europe a encore de bonnes positions de production de matériaux à hautes performances.

Les métaux et leurs alliages, les composés intermétalliques jouent un rôle important en microélectronique. L'étude des nanowhiskers, l'élaboration des métaux par la méthode de la zone fondue... font partie des questions à approfondir.

L'industrie pétrolière pose des questions spécifiques pour le transport et l'extraction. La corrosion par H₂S et CO₂ est à étudier, corrosion généralisée, par piqure, localisée... avec fragilisation due à l'hydrogène...

Les pipelines ont une longueur de l'ordre de 25 fois le tour de la Terre. Les diamètres sont de 10 cm à 1,5 m et le pétrole est transporté sous des pressions de plus en plus fortes, 200 bars par exemple aujourd'hui. Les structures ferrito-bainitiques sont très utilisées. Vallourec Mannesmann et Europipe sont leaders dans ce domaine avec des usines en France avec une concurrence japonaise de plus en plus forte.

La recherche en métallurgie et l'industrie s'essouffent alors qu'elles ont un passé brillant en France. Il faut effacer les frontières entre physique, chimie et mécanique, recherche fondamentale et science de l'ingénieur. Les départs à la retraite sans renouvellement sont nombreux. On estime à 1100 le nombre de chercheurs métallurgistes. Il faudrait en recruter un minimum de 150 par an.

Il faut une interaction université industrie guidée par une mission interministérielle.

L'enseignement de la métallurgie est plutôt en régression dans les grandes écoles et Material Science and Engineering. Il faut le revigorer, le reconstruire. Développer un enseignement pertinent dans la voie professionnelle !

Quel est donc l'avenir de la section de BTS traitement des matériaux ?